

ANALIZA FIZIČKO-HEMIJSKIH PARAMETARA I PRISUSTVA TEŠKIH METALA U JEZERU MODRAČ I RIJECI SPREČI

eKO BIH



Finansira Evropska unija



Centar za
životnu sredinu

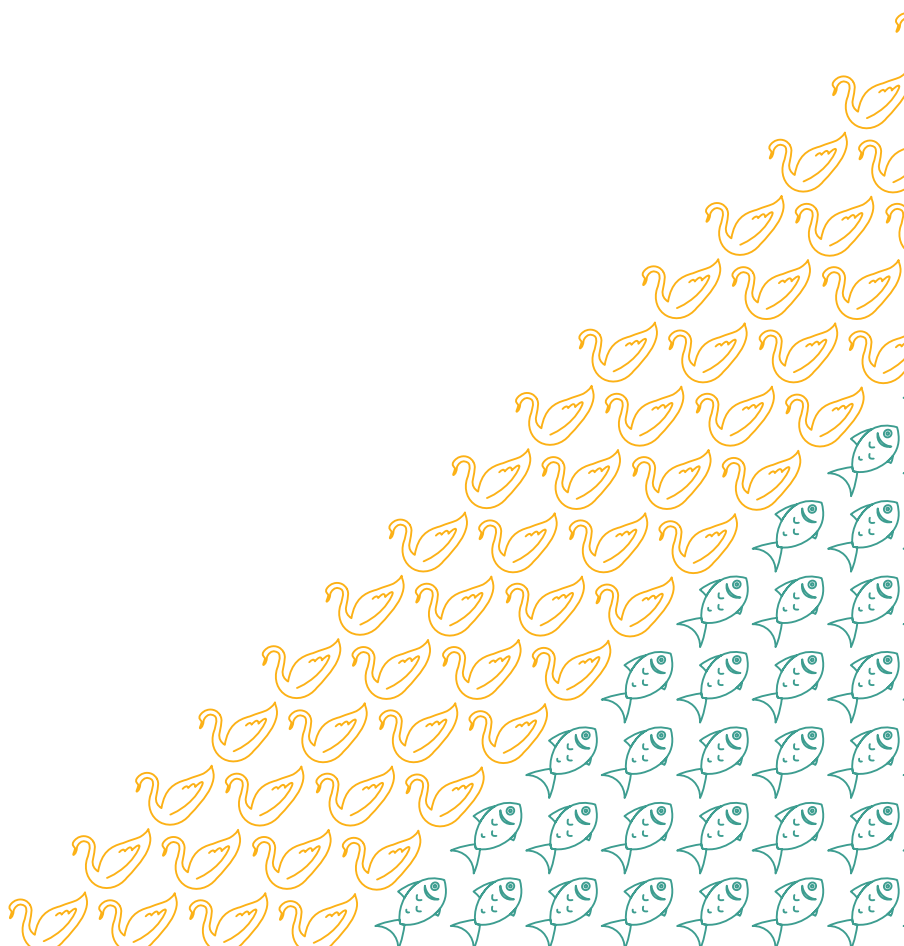
cee
centar za ekologiju i energiju

UDRUŽENJE
AARHUS
CENTAR U BIH



Implementiraju partneri

Sufinansira



ANALIZA FIZIČKO-HEMIJSKIH
PARAMETARA I PRISUSTVA TEŠKIH METALA
U JEZERU MODRAC I RIJECI SPREČI



TUZLA
2019



IZDAVAČ:

Centar za ekologiju i energiju

Filipa Kljajića 22, 75000 Tuzla, BiH
www.ekologija.ba

Autor:

Dr.sci. Abdel Đozić, dipl.ing.tehn.

Koautor:

Hana Alihodžić, MA

Centar za ekologiju i energiju

Amra Skramončin, projekt menadžer

Dizajn:

Aleksandar Škorić Saša

Štampa:

OFF-SET d.o.o. Tuzla

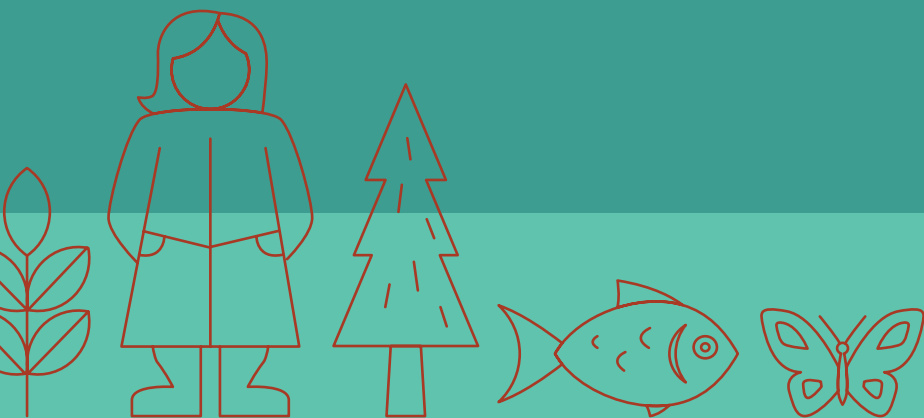
Tiraž:

300 primjeraka



SADRŽAJ:

1. UVOD
2. OPĆI PODACI O RIJECI SPREČI I JEZERU MODRAC
3. IZVORI ZAGAĐIVANJA, PREGLED PRETHODNIH ISTRAŽIVANJA
 - 3.1. Emisija otpadne vode iz taložnica „Bijelo more“
 - 3.2. Emisija otpadne vode iz taložnica „Crno more“
 - 3.3. Emisija otpadne vode iz taložnica „Bijelo more“ tokom akcidenta
 - 3.4. Emisija otpadne vode tokom akcidenta na rezervoaru amonijačne vode
 - 3.5. Emisija procjedne otpadne vode sa deponije „Potočari“ općina Lukavac
 - 3.6. Emisija procjedne otpadne vode sa deponije „Plane, Divkovići I i Divkovići II“ općina Tuzla
4. EKOLOŠKO TOKSIKOLOŠKE OSOBINE TEŠKIH METALA
 - 4.1. Arsen
 - 4.2. Kadmij
 - 4.3. Nikl
 - 4.4. Olovo
 - 4.5. Živa
5. UTICAJ TEŠKIH METALA NA KVALITET RIJEKE SPREČE I JEZERA MODRAC
 - 5.1. Kvalitet vodotoka Spreče, Turije i jezera Modrac
 - 5.2. Rezultati analize sadržaja teških metala
6. ZAKLJUČCI I PREPORUKE
7. LITERATURA



1. UVOD

Zagađenje okoline je široko rasprostranjen problem koji u svojoj konačnici ima negativan uticaj na ljudsko zdravlje. Intenzivno unošenje otrovnih supstanci u sve sastavnice okoline vodi ka dugoročnom pogoršanju zdravstvenih prilika opće populacije stanovništva. Veliki broj istraživanja potvrđuje da okolinski faktori imaju sve očitiji uticaj na sve aspekte života ljudske populacije (Rosenstock 2003; World Health Organization [WHO], 2010b).

Rijeka Spreča protiče kroz dvanaest općina sjeveroistočnog dijela BiH i recipijent je svih industrijskih, komunalnih i ostalih vrsta otpadnih voda u svom slivnom području. Otpadne vode se najčešće bez bilo kakvog tretmana ispuštaju direktno ili indirektno preko pritoka u rijeku Spreču. Osim zagađenja otpadnim vodama, korito Spreče je mjesto i za odlaganje različitih vrsta čvrstog otpada, često neselektiranog i koji sadrži opasan otpad. Svaki vodotok ima određeni samoprečišćavajući kapacitet. U trenutku kad on bude premašen, kvalitet vode, sedimenta i cijelog ekosistema je narušen i ukoliko se nastavi sa zagađenjem, smanjuje se broj vrsta i narušava prirodno uspostavljena ravnoteža.

Većina rijeka na području Federacije BiH je zagađena, a posebno ekstremna zagađenja se bilježe nizvodno od gradova i industrijskih kompleksa. Osim mikrobiološkog zagađivanja (virus hepatitis A, gljivice, kolimorfne bakterije, paraziti i dr.), u značajnoj mjeri su prisutni hemijski spojevi i elementi (nitrati, nitriti, amonijak, teški metali, deterdženti, pesticidi i dr.). Decenije agresivne industrijalizacije i zanemarivanja su ozbiljno degradirale raznolikost biljnih i životinjskih vrsta rijeke Spreče i jezera Modrac kao i priobalnog područja. Broj riba i biljnih vrsta u rijeci Spreči su znatno smanjeni, a u jednom dijelu svoga toka, rijeka Spreča je apsolutno mrtva rijeka, bez ikakvog biljnog ili životinjskog svijeta. Kvalitet ribe u rijeci Spreči je upitan obzirom na dugogodišnje zagađivanje vodotoka vrlo toksičnim tvarima, čestom pomoru ribe, ali i sve češćim akcidentnim zagađivanjem rijeke.

U ovom radu analizirano je pet teških metala (As, Cd, Ni, Pb i Hg) poznatih kao toksična petorka. Uzorci su uzimani na šest mjernih mjesta i jednom uzorku ribe iz jezera Modrac. Cilj istraživanja je bio da se utvrdi uticaj teških metala na hemijski kvalitet rijeke Spreče i jezera Modrac, odnosno ispita mogući unos teških metala u lanac ishrane.

2. OPĆI PODACI O RIJECI SPREČI I JEZERU MODRAC

Prema izvorima koji datiraju iz austrugarskog perioda, rijeka Spreča je bila jedna od najbogatijih rijeka u pogledu brojnosti i vrsta ihtiofaune. Međutim, njeno intenzivno onečišćenje počinje polovinom pedesetih i početkom šezdesetih godina prošlog vijeka, gdje se navedeni vodotok koristi na području Tuzlanskog bazena za snabdijevanje tehnološkom vodom industrijskih kapaciteta, a ujedno je i recipijent svih industrijskih i komunalnih otpadnih voda sa slivnog područja. Zbog nepovoljnog prirodnog režima voda u slivu rijeke Spreče (nedostatak i neravnomjerna raspodjela voda), došlo je do prekomjernog i nekontroliranog onečišćenja voda u otvorenim vodotocima i veoma izraženog deficita u vodi za potrebe stanovništva i privrede. Jezero Modrac je najveća vještačka akumulacija na području BiH i najznačajniji vodni resurs Tuzlanskog kantona. Voda iz navedene akumulacije se koristi kao tehnološka voda i kao voda za piće. Od samog nastanka akumulacije prisutan je problem njenog zagađivanja uslijed konstantnog taloženja sedimenta koji se u jezero unosi rijekama Sprečom i Turijom.

Rijeka Spreča je desna pritoka rijeke Bosne i pripada slivnom području rijeke Save. Izvire na lokalitetu općine Šekovići i teče kroz područje dvanaest općina. U svom donjem toku predstavlja administrativnu granicu dva entiteta. Dužinom od 147,3 km i površinom sliva od 1.932 km², Spreča je najveća pritoka rijeke Bosne. Slivno područje rijeke Spreče, kao najznačajnijeg vodnog resursa posmatranog područja, obuhvata prostor u kojem živi i radi oko pola miliona stanovnika. U odnosu na FBiH to je 10% teritorije FBiH i 24% stanovništva. Samo u slivu akumulacije Modrac, koje je dio sliva Spreče, u 110 naselja živi oko 130.000 stanovnika (direktno uz akumulaciju oko 25.000 stanovnika). Zagađenje je posebno bilo izraženo tokom 2018. godine kada je došlo do akcidenta na nasipu taložnice „Bijelo more“ i niza akcidenata sa otpadnim vodama u koksno-hemijskom kombinatu GIKIL Lukavac, što je značajno narušilo hemijski kvalitet rijeke Spreče i zagađilo sediment za duži niz godina.

Akumulacija Modrac formirana je 1964. godine izgradnjom brane u tjesnacu Modrac, općina Lukavac. Formiraju je rijeke Spreča i Turija sa pritokama. Površina sliva do profila brane iznosi 1.189 km². Od toga, slivu rijeke Spreče pripada 832 km², a slivu rijeke Turije 240 km² i neposrednom slivu akumulacije 117 km². Za projektovano stanje, planirano je da akumulacija „Modrac“ obezbjeđuje u prosjeku 2,30 m³/s vode za potrebe stanovništva i tehnološke potrebe privrednih kapaciteta, te 4,70 m³/s kao vodoprivredni minimum u rijeci Spreči, nizvodno. Namjena akumulacije, po redosljedu prioriteta utvrđenom Zakonom o zaštiti akumulacije „Modrac“ („Službene novine Tuzlanskog

kantona", broj:15/06), je:

- obezbjeđenje vode za potrebe stanovništva,
- obezbjeđenje vode za potrebe industrije,
- obezbjeđenje biološkog minimuma za vodotok Spreče, nizvodno od brane,
- zaštita od poplava područja nizvodno od brane,
- proizvodnja električne energije na malim hidroelektranama,
- razvoj turizma, rekreacije i sportova na vodi, u skladu sa navedenim zakonom.

Od ukupne površine akumulacije, pri koti normalnog uspora 200,00 m.n.m (projektovano stanje), na teritoriji općine Lukavac nalazi se 63,70% (10,89 km²), 34,90% (5,97 km²) na teritoriji općine Živinice i 1,40% (0,24 km²) na teritoriji općine Tuzla. U periodu eksploatacije od preko 46 godina, u akumulaciju je unešeno oko 15 miliona m³ nanosa (procjena), koji najvećim dijelom potiče iz mokrih separacija i površinskih kopova: Rudnika „Kreka“ u Tuzli, Rudnika mrkog uglja „Banovići“ i Rudnika mrkog uglja „Đurdevik“ u Đurdeviku.

Uredbom o klasifikaciji voda, rijeka Spreča do ušća u akumulaciju Modrac, svi drugi vodotoci u slivu akumulacije i sama akumulacija Modrac svrstani su u II kategoriju klase voda. Akumulacija Modrac, posebno u plićim dijelovima, ne zadovoljava ni II kategoriju kvaliteta vode posmatrajući parametre kao što su otopljeni kisik i otopljena organska zagađenja (utrošak KMnO₄), a utvrđene su prekoračene koncentracije azotnih i fosfornih jedinjenja, željeza, mangana, a i ostalih teških metala (Pb, Zn, Cr, Cu, Al). Na osnovu bioloških istraživanja voda akumulacije Modrac koja su obavljena u proteklih par godina, može se zaključiti da je u posljednjih 40 godina, akumulacija izmijenila stepen trofije i degradirala taj parametar kvaliteta do granice eutrofnih voda. Od formiranja akumulacije 1964. godine do geodetsko-hidrografskog mjerenja 2002. godine, za potrebe praćenja stanja akumulacije, definirano je 20 poprečnih profila. Najnovija mjerenja provedena su 2012. godine, u okviru kojih su prvi puta, zahvaljujući napretku mjerne tehnologije, kombinirana satelitska, aerofotogrametrijska, terestrička i hidrografska metoda mjerenja terena. Rezultati su prikazani u tabeli 2.1 (Kupusović et.al, 2014).

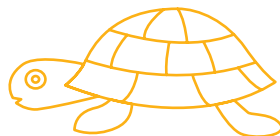


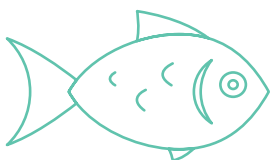
Tabela 2.1 Morfometrijske karakteristike akumulacije Modrac za 2012. godinu (Arnautić, 2008; i Dragun 2012.)

Parametar	1964.	1985.	2012.
Površina (m ²)	17,1	16,75	16,69
Ukupni volumen(m ³)	98x106	88 x106	102.759.629,92
Korisni volumen(m ³)	77x106	77x106	66.522.627,33
Maksimalna dubina (m)	18,0	18,0	14,94
Prosječna dubina (m)	5,7	5,2	5,32
Maksimalna dužina (m)	10.700	10.400	10.475,72
Maksimalna širina (m)	1.600	1.780	2.411,17
Dužina obale (m)	33.250	31.700	42.537,63

Razlike u vrijednostima mjerenja od 1964. i 2012. godine su rezultat naprednije tehnologije mjerenja u 2012. godini. Razlika u dubini, ukupnom i korisnom volumenu je u količini nataloženog sedimenta u periodu od 48 godina. Na osnovu izvršenih mjerenja utvrđeno je da je u akumulaciji Modrac za kotu normalnog uspora 200,00 m. n. m godišnje prosječno uneseno nanosa:

- ← 374.000,00 m³ za razdoblje između 1964. i 1979. godine,
- ← 376.666,67 m³ za razdoblje od 1979. do 1985. godine,
- ← 262.446,47 m³ za razdoblje od 1985. do 2002. godine.

Ovim mjerenjem utvrđeno je da je u razdoblju između 2002. do 2012. godine uneseno prosječno 268.831,27 m³god⁻¹. Iz navedenih podataka jasno je da je ukupna količina nanosa u akumulaciji do kote 200 m. n. m 15.019.903 m³, te da je unos u akumulaciju kontinuiran s oscilacijama u određenim vremenskim periodima (Kupusović et.al, 2014). Koncentracija suspendiranih materija u vodi rijeke Spreče zavisi od protoka vode i u prosjeku se kreće od 100-400 mg/l, povremeno i do 1.000 mg/l. Prema ispitivanjima obavljenim 2010. godine, unos tereta zagađenja od suspendiranih materija je iznosio oko 100 t/dan, a u ranijim razdobljima i do 400 t/dan.



3. IZVORI ZAGAĐIVANJA, PREGLED PRETHODNIH ISTRAŽIVANJA

Govoreći općenito o kvalitetu voda, oko 2/3 svih površinskih voda u BiH je zagađeno iznad dozvoljenih nivoa, a istraživanja urađena od strane federalnog Ministarstva poljoprivrede, vodoprivrede i šumarstva u proteklih par godina, ukazuju na to da je, u takvom okruženju, „rijeka Bosna najzagađenija rijeka u BiH“, a „njene najzagađenije pritoke su Miljacka i Spreča sa Jalom“. Teško hemijsko i mikrobiološko zagađenje Spreče, njenih pritoka i akumulacije Modrac kao jedne od najvećih BiH akumulacija, potvrđeno je i analizama provedenim od strane Agencije za vodno područje rijeke Save. U gusto naseljenim područjima urbano-industrijskog tipa zagađenje dostiže vrlo ozbiljne dimenzije. U siromašnim zemljama više od 80% zagađene vode se koristi za navodnjavanje što predstavlja visok rizik za unos različitih potencijalno kancerogenih spojeva u lanac ishrane. Istraživanja pokazuju da je broj riba i biljnih vrsta u rijeci Spreči znatno manji nego u slično zagađenim rijekama (i do 30%). Kvalitet ribe koju ulove lokalni ribari, a koja predstavlja izvor hrane, je upitan obzirom na realnu mogućnost da je takva riba kontaminirana teškim metalima dospjelim iz otpadnih voda.

Stanje okoline na području Tuzlanskog kantona je direktan odraz industrijskih aktivnosti. Najznačajniji otpadni tok u tvornici soli „SOLANA“ d.d. Tuzla je otpadni mulj koji nastaje u količini od oko 2 t/dan ili oko 1.000 t/god. Navedeni otpadni tok se bez prethodnog tretmana ispušta u rijeku Jalu. U procesu proizvodnje Na_2CO_3 , NaOH i NaHCO_3 u „SISECAM SODA“ d.o.o. Lukavac nastaje oko 100.000 t/god tečnog otpadnog toka koji se odlaže na taložnice „Bijelo more“ a preliv bez tretmana ispušta u rijeku Spreču. Takođe, šljaka i pepeo u količini od oko 80.000 t/god koja nastaje u pogonu energane odlaže se na odlagalište „Crno more“ unutar kruga tvornice. Proces sagorijevanja uglja u termoelektrani „Tuzla“ prati nastajanje šljake i pepela na godišnjem nivou koja se odlaže, a iznosi od 1.700.000 m^3 do 2.000.000 m^3 . Do sada je na odlagališta odloženo oko 40.000.000 m^3 šljake i pepela. Prelivne i procjedne vode sa odlagališta se bez ikakvog tretmana ispuštaju u rijeku Jalu, što dodatno zagađuje ovaj vodotok. Takođe, emisijom otpadne vode iz procesa separacije uglja iz rudnika „Banovići“ i „Đurđevik“, vodotoci se obogaćuju suspendiranim česticama uglja što za posljedicu ima intenzivno zapunjavanje jezera Modrac sedimentom, visok sadržaj nutrijenata poput fosfora, kalija i azota utiče na njegovu eutrofikaciju i narušavanje jezerskog ekosistema.

3.1 EMISIJA OTPADNE VODE IZ TALOŽNICA „BIJELO MORE“

Taložnica „Bijelo more“ sastoji se iz četiri taložna bazena-lagune (I, II, III i IV) ukupne površine 566.000 m² i to:

- taložnica br. I, u funkciji nakon akcidenta na taložnici br. IV,
- taložnice br. II i III međusobno su spojene, izvršeno je ojačanje istih,
- taložnica br. IV, nakon akcidenta ojačana i puštena u rad.

Dubina taložnica bez nasipa je 4 m, visina nasipa 4 m, ukupno 8 m. Taložnice imaju sistem za odvođenje izbistrenog dijela koji se sastoji od prelivnih cijevi na površini. Otpadni muljeviti tok koji se transportuje na taložnicu „Bijelo more“ sadrži:

- rastvorene materije (CaCl₂, NaCl, Na₂SO₄);
- suspendirane materije (CaCO₃, CaSO₄, Ca(OH)₂, SiO₂, MgCO₃, Al₂O₃ i Fe₂O₃).

Prosječni protok na ispustu u rijeku Spreču iznosi oko 8.000 m³/dan. Otpadne vode iz taložnice „Bijelo more“ karakteriše visoka pH vrijednost, sadržaj suspendiranih tvari, te posebno visoka koncentracija hlorida, a takođe u visokim koncentracijama prisutni su i sulfati. U tabeli 3.1 prikazani su rezultati kvalitete otpadnih voda nastalih u Sisecam Soda Lukavac. Prema Pravilniku o kategorijama otpada sa listama (Službene novine FBiH 9/05) otpadni materijal odlagan u taložnici 4 se svrstava u neopasan otpad i pripada kategoriji:

- 06 Otpad iz anorganskih hemijskih procesa,
- 06 02 otpad iz PFDU baza,
- 06 02 99 otpad koji nije specificiran na drugi način.



Tabela 3.1 Kvalitet industrijskih otpadnih voda, Sisecam Soda Lukavac

Ispitivani parametar/ Jedinica mjere	Ispust Bijelo more	Ispust Crno more	Ispust fekalna kanalizacija	MDK
Protok (m ³ /dan)	8.073	1.1410	45	-
Temperatura (°C)	20,7	21,1	19,9	30
pH	11,17 ± 0,04	8,76 ± 0,04	7,63 ± 0,03	6,5 – 9,0
Boja [Pt Co skala]	71	59	37	-
Sadržaj otopljenog kisika (mgO ₂ /l)	1,62 ± 0,02	4,10 ± 0,06	3,31 ± 0,05	-
HPK-Cr (mg O ₂ /l)	90	107	111	125
BPK ₅ (mg O ₂ /l)	17	18	23	25
Ukupne suspendirane čvrste čestice (mg/l)	62,4 ± 5,7	20,3 ± 1,9	19,3 ± 1,8	35,0
Elektroprovodljivost (µS/cm20°C)	110.702	2.490 ± 1,9	2.710 ± 25,7	-
Isparni ostatak na 105°C (mg/l)	111.004	2.874	2.995	-
Gubitak žarenjem (mg/l)	1.100	870	547	-
Ukupni alkalitet (mg CaCO ₃ /l)	1.180	2.331	143	-
m-alkalitet (mgCaCO ₃ /l)	143	2014	143	-
p-alkalitet (mgCaCO ₃ /l)	1.037	317	0,00	-
Hloridi (mgCl ⁻ /l)	59.067,2	300,1±25,8	206,1± 17,7	250,0
Sulfati (mgSO ₄ ⁻ /l)	587,5	126,4	101,1	200,0
Amonijak NH ₄ – N (mgN/l)	0,2	14,0	4,6	10,0
Nitriti NO ₂ – N (mgN/l)	0,03	0,07	0,05	0,50
Nitriti NO ₃ – N (mgN/l)	0,1	1,11	0,8	10,0
Ukupni nitrogen (mgN/l)	5,1	18,4	6,2	15,0
Orto-fosfati (mgP/l)	0,04	0,8	0,8	-
Ukupni fosfor (mgP/l)	0,05	0,9	0,9	2,0*
Test toksičnosti (48 LC ₅₀) Daphnia magna Straus (%)	1,5	Nije toksična	Nije toksična	> 50
Ukupna ulja i masti (mg/l)	0,0	5,3	8,6	20
Ukupne površinske aktivne tvari (deterdženti i dr.) (mg/l)	0,0	0,2	0,2	1,0
Mineralna ulja (mg/l)	0,0	0,5	0,0	10,0

Na osnovu rezultata prikazanih u tabeli 3.1. može se zaključiti da preliv iz taložnice bijelo more sadrži ekstremno visoke koncentracije hlorida, povišenu vrijednost pH, kao i sadržaj sulfata. Usljed visoke vrijednosti pH i sadržaja hlorida, a prema testu toksičnosti (48 LC₅₀) Daphnia magna Straus (%) preliv sa taložnice "Bijelo more" je toksičan.

3.2 EMISIJA OTPADNE VODE IZ TALOŽNICA „CRNO MORE“

Za odlaganje šljake i pepela kao i elektrofilterskog pepela, koriste se taložnice „Crno more“. U taložnice se pomoću cjevovoda Ø 150 mm hidrauličkim transportom doprema muljeviti otpadni tok iz pogona termoelektrana. Transport pepela i šljake se vrši odvojeno, sa posebnim cjevovodima i u posebne taložnice. U taložnicu br.1 se transportuje šljaka, a u ostale tri se transportuje elektrofilterski pepeo. Svaka od navedenih taložnica ima izgrađene prelivne i drenažne sisteme za odvod viška vode, kao i obodne kanale koji odvede procjednu i prelivnu vodu u rijeku Spreču. Prosječni protok na ispustu u rijeku Spreču (zajednički kolektor) iznosi 11.400 m³/dan. Otpadna voda iz taložnice „Crno more“ može imati povišenu pH vrijednost kao i povišen sadržaj hlorida, amonijaka i ukupnog azota. Otpadne vode sa pH vrijednošću većom od 10 su toksične za sve vrste slatkovodne ihtiofaune. Povišena pH vrijednost može se objasniti visokim sadržajem karbonata u otpadnoj vodi. Hloridi su prema dosadašnjim istraživanjima označeni kao onečišćujuća tvar sa razarajućim uticajem po okolinu. U manjim koncentracijama su neophodni za sve organizme, međutim pri visokim koncentracijama ispoljavaju toksičan uticaj. Hloridi su hemijski indikatori zagađenja i stalne su komponente industrijskih i komunalnih otpadnih voda. Nalaze se u obliku soli natrija, kalcija i magnezija. Većina navedenih soli je rastvorljiva u visokim koncentracijama. Zasićenje vode natrij hloridom je 360 g/kg vode (na 25°C) što odgovara količini od 218 g hloridnih-jona na kilogram vode. Osim iz industrijskih i komunalnih otpadnih voda, hloridi u površinske, a naročito podzemne vode, dospijevaju i prilikom korištenja vještačkog i stajskog gnojiva, a kao posljedica je onečišćenje podzemnih voda ispod poljoprivrednih površina.

3.3 EMISIJA OTPADNE VODE IZ TALOŽNICA „BIJELO MORE“ TOKOM AKCIDENTA

Dana 27.04.2018. godine oko 15:00 sati došlo je do pucanja dijela nasipa na taložnici br.4 i izlivanja određene količine taloga i tečne faze u optočni kanal, okolno zemljište i rijeku Spreču. Zagađenje zemljišta i vodotoka je bilo vizuelno uočljivo, a ogledalo se u obojenju površinskog sloja zemljišta i cijelog vodnog tijela rijeke bijelom bojom. Takođe, neposredno ispod mjesta pucanja nasipa bili su vidljivi komadi različite veličine materijala od kojeg je bio izgrađen nasip, ali i komada taloga „Bijelo more“. Na zemljištu ispod taložnice, čvrsta faza u obliku bijele muljevite mase ispunila je postojeće depresije i kanale gdje se formirao sloj taloga različite debljine. Preko ovako formiranog sloja, prema rijeci Spreči oticala je tečna faza noseći sa sobom dio čvrste muljevite faze što je uzrokovalo obojenje rijeke. Nakon saniranja nasipa i zaustavljanja daljeg istjecanja, na poljoprivrednim površinama, dijelu optočnog kanala kao i kanalima koji se koriste za odvodnju oborinskih voda zadržao se vidljivi bijeli talog. Površine preko kojih je tekla tečna faza i na kojima se nalazi bijeli talog, a koje su bile pod uzgajanom kulturom kukuruza su uništene, što se ogleda u sušenju biljne kulture. Takođe, nisko rastinje u blizini kanala i na zapuštenim površinama koje su bile zahvaćene istjecanjem je bilo oštećeno i pokazuje znakove sušenja.

Izlijevanje dijela tečne i čvrste (muljevite) faze iz taložnice br.4 u rijeku Spreču dovelo je do tzv. udarnog zagađenja, gdje je u kratkom vremenskom periodu u vodotoku se našla veća količina neorganskih materija. Rijeka Spreča u vrijeme akcidenta je imala miran i usporen tok što je dovelo do slabijeg razrjeđenja udarnog dijela zagađenja. Glavni udarni val zadržao je visoku pH vrijednost oko 11,5 uz visok sadržaj hlorida i sulfata. Prolaskom udarnog zagađenja kvalitet vodotoka se postupno vraća u stanje prije zagađenja. Usporen tok kretanja udarnog vala spriječio je masovni pomor ribe u rijeci Spreči. Hloridi su zagađujuće tvari koje imaju izrazito negativan uticaj na okoliš, smanjuju stopu reprodukcije kod slatkovodnih organizama, povećavaju stopu smrtnosti vrsta i mijenjaju karakteristike cijelog ekosistema.

3.4 EMISIJA OTPADNE VODE TOKOM AKCIDENTA NA REZERVOARU AMONIJAČNE VODE

Usljed akcidenta (eksplozije) na rezervoaru amonijačne vode došlo je do isticanja sadržaja rezervoara na površinu neposredno uz lokaciju rezervoara, a putem odvodnih kanala tečni dio je dospio u rijeku Spreču. Zagađenje je bilo vizuelno uočljivo, ogledalo se u obojenju površinskog sloja vodotoka prljavom bijelom bojom i pojavom mrlja koje odbijaju

sunčevu svjetlost u spektru duginih boja. Takođe, uočeni su i plivajući komadi koji svojim izgledom asociraju na katransko porijeklo i koji se pomjeraju nizvodno nošeni riječnom strujom. Vizuelni efekat je bio praćen oštrim mirisom. Ova vrsta otpadnih voda tokom akcidenta je toksična. Toksičnost ujedno predstavlja ukupnu procjenu uzorka, odnosno na osnovu testa se procjenjuju kombinovani uticaji analiziranih supstanci, ali i supstanci koje nisu obuhvaćene analizom a prisutne su u uzorku. Parametri koji najčešće prelaze granične vrijednosti u odnosu na vrstu otpadne vode su: ukupne suspendovane materije, hemijska potrošnja kisika, biološka potrošnja kisika, amonijačni azot, vrijednosti pojedinih teških metala kao što su: hrom, kadmij i olovo. Iznad granične vrijednosti mogu biti: hloridi, cijanidi, fenoli, ukupni organski ugljik, antracen benzo(a)piren, fluoranten i adsorbilni organski halogeni.

3.5 EMISIJA PROCJEDNE OTPADNE VODE SA DEPONIJE „POTOČARI“ OPĆINA LUKAVAC

Na području Tuzlanskog kantona postoji nekoliko općinskih deponija komunalnog otpada koje nemaju riješen problem prečišćavanja svojih procjednih deponijskih voda. Otpad koji se odlaže na deponijama se bez selekcije dovozi i odlaže, a sam proces odlaganja ne prati tehnološku praksu propisanu odgovarajućim EU Direktivama za ovu oblast. Ovakav način odlaganja ima izražen negativan uticaj na okolinu, prije svega preko procjednih deponijskih voda koje pripadaju skupini najzagađenijih otpadnih voda koje se mogu generirati. Skoro da ne postoji zagađujuća tvar bilo da je organskog, neorganskog ili biološkog porijekla, a da se ne nalazi u procjednoj deponijskog vodi. U tabeli 3.2 prikazani su rezultati analize procjedne vode sa deponije Potočari općina Lukavac.



Tabela 3.2 Kvalitet procjedne otpadne vode sa deponije "Potočari" općina Lukavac

Ispitivani parametar	Jedinica	Procjedna deponijska voda	Granične vrijednosti za površinske vode
Temperatura	°C	9,3	30
pH	-	8,84	6,5 – 9,0
Boja	Pt/Co skala	410,4	-
Sadržaj rastvorenog kisika	mgO ₂ /l	2,13	-
Taložive tvari po Imhofu	ml	0,81	0,5
Ukupne suspendovane materije	mg/l	43,7	35
Hemijska potrošnja kiseonika	mgO ₂ /l	280,5	125
Biološka potrošnja kiseonika	mgO ₂ /l	23	25
Elektroprovodljivost	μS/cm	5122	-
Amonijačni azot	mgN/l	21,5	10
Ukupni azot	mgN/l	152	15
Ukupni fosfor	mgP/l	0,085	2,0
Test toksičnosti (48LC ₅₀)	%	36,1	>50
Teško hlapive lipofilne tvari (ukupna ulja i masti)	mg/l	3,6	20
Sulfati*	mg/l	235,5	250,0
Nitriti (NO ₂ -)	mg/l	1,70	0,5
Hloridi	mg/l	35,21	250
Krom (Cr)	mg/l	0,58	0,5
Mangan (Mn)	mg/l	0,053	1,0
Bakar (Cu)	mg/l	0,77	0,5
Željezo (Fe)	mg/l	0,43	2,0
Kobalt (Co)	mg/l	0,11	1,0
Nikal (Ni)	mg/l	0,62	0,5
Kadmij (Cd)	mg/l	0,07	0,1
Olovo (Pb)	mg/l	0,68	0,5
Cink (Zn)	mg/l	0,043	2,0






Crvenom bojom su označeni parametri koji prelaze graničnu vrijednost. Prema testu toksičnosti uzorak otpadne vode je toksičan. Od teških metala graničnu vrijednost prelaze hrom, bakar, nikl i olovo. Takođe, visoke su vrijednosti nitrata i amonijačnog azota. Napominjemo da ovom analizom nisu obuhvaćene organske zagađujuće tvari koje mogu imati vrlo izražen negativan uticaj. Prema EU Direktivi o deponovanju otpada 1999/31/EC, kao i Direktivi o otpadu 2006/12/EC, sve vode nastale na deponiji treba da se sakupe i prečiste, prije bilo kakvog ispuštanja u krajnji recipijent. Ukoliko se nastavi nekontrolirano ispuštanje otpadne vode, vodonosni pijesak ispod tijela deponije debljine oko 200 m će biti kontaminiran što će za posljedicu imati trajno onečišćenje izvorišta vode nizvodno od deponije.

3.6 EMISIJA PROCJEDNE OTPADNE VODE SA DEPONIJE „PLANE, DIVKOVIĆI I I DIVKOVIĆI II“ OPĆINA TUZLA

U okviru izrade Studije pod nazivom „Prisustvo teških metala u zemljištu i lokalno proizvedenoj hrani u naseljima na području oko odlagališta šljake Divkovići/Plane – termoelektrane Tuzla“ iz 2015. godine analizirana su tri uzorka procjedne vode sa odlagališta šljake i pepela termoelektrane Tuzla i jedna uzorak desne pritoke Spreče rijeke Jale (Tabela 3.3).

Tabela 3.3 Analiza procjedne deponijske vode i rijeke Jale na sadržaj teških metala

Oznaka uzorka	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Zn
V-01	<3,0	55,0	14,0	60,0	10,0	10,0	18,0	29,0	30,0	13,0
V-02	3,0	48,0	<10,0	23,0	19,0	10,0	12,0	27,0	<10,0	<10,0
V-03	<3,0	42,0	15,0	80,0	12,0	10,0	142,0	25,0	30,0	10,0
V-04	22,0	32,0	13,0	60,0	<10,0	10,0	136,0	24,0	28,0	<10,0

	Veoma jako zagađena
	Jako zagađena
	Zagađena
	Blago zagađena
	Nezagađena

Opis lokacije uzorkovanja prema pripadajućoj oznaci uzorka je: V-01 Prelivna voda sa aktivnog odlagališta Jezero II, V-02 Procjedna voda Potok Banovac V-03 Procjedna voda sa vrha odlagališta prema naselju Pogorioci i V-04 Rijeka Jala, naselje Šićki Brod, ispod mosta. Sva četiri uzorka u pogledu koncentracije hroma su klasificirana kao veoma jako zagađena. Tri uzorka su klasificirana kao veoma jako zagađena kadmijem. Uzorci vode su blago zagađeni niklom. U pogledu sadržaja olova, tri uzorka možemo klasificirati kao jako zagađeni. Općenito, može se zaključiti da su uzorci vode veoma jako zagađeni hromom i kadmijem. Prema Kriteriju Kontinuirane Koncentracije (CCC-Criterion Continuous Concentration), a u skladu sa Aquatic Life criteria for freshwater according to EPA, dobivene koncentracije kadmija i olova mogu imati neprihvatljive negativne uticaje na vodeni ekosistem recipijenta.

4 EKOLOŠKO TOKSIKOLOŠKE OSOBINE TEŠKIH METALA

Izloženost teških metala je povećana širom svijeta zbog sve većeg razvoja industrijske proizvodnje, urbanizacije kao i povećanja standarda stanovišta, a kao posljedica toga sve više se povećavaju i štetni efekti u pogledu zdravstvenog stanja populacije. Teški metali su ekološki vrlo značajni jer su nerazgradljivi i ne nestaju nego se kreću kroz čitav ekosistem i imaju normalan biogeohemijski ciklus. Pri većim koncentracijama ispoljavaju toksične efekte i ukoliko se uključe u hranidbeni lanac, predstavljaju opasnost po zdravlje životinja i čovjeka. Neki teški metali kao što su olovo, nikel, arsen i živa ispoljavaju toksične učinke u slučaju njihovog suviška u okolišu. Njihova antropogena redistribucija uzrokuje povećan prodor u hranidbene lance i izaziva različite poremećaje, kako u prirodnim tako i u antropogeniziranim ekosistemima.

4.1 ARSEN

Arsen se rijetko pojavljuje u svom elementarnom obliku. Uglavnom se nalazi u obliku jedinjenja ili spojeva, pa tako postoje tri glavna oblika arsena: anorganski, organski, arsinski gas. Arsen u organskom obliku je relativno netoksičan arsen i kao takav on se lako eliminiše iz organizma. Kada je riječ o arsenu, najvažniji problem vezan za njegovo prisustvo jeste kontaminacija voda uglavnom sa anorganskim vrstama As. Arsen spada u metaloide, ali se zbog svoje toksičnosti svrstava u teške metale. Pojavljuje se u spojevima kao As^{3+} i As^{5+} , najčešće se nalazi u vidu trovalentnog oksida As_2O_3 koji je i najtoksičniji. U prirodi je najviše zastupljen u stijenama (99%), a ostatak se nalazi u zemljištu i vodama. U biosferu dospijeva i iz antropogenih izvora, kao što su rafinerije i topionice. U prirodi arsen je uglavnom vezan u različite geološke formacije iz kojih najčešće procjeđivanjem dospijeva u vodotoke. Arsen je u zemljištu jako mobilan što mu omogućava da kontaminira i podzemne vode. Zemljište i biljke ga akumuliraju i zadržavaju, pa se u podzemnoj vodi nalazi u nižim koncentracijama. Arsen je subjekat bioakumulacije, rijetko i biomagnifikacije. Toksičnost arsena i njegovih jedinjenja prati promjene na koži (mehurići na koži, čirevi, hiperpigmentacija, pa i rak kože), kancerogenost i neurotoksičnost. Kardiovaskularna toksičnost arsena povezuje se s hipertenzijom i tzv. bolešću crnih stopala, zbog poremećaja periferne cirkulacije, kao i s arterosklerozom, srčanim, moždanim udarom i dr.

4.2 KADMIJ

Na temelju dosadašnjih istraživanja utvrđeno je da kadmij nema esencijalne biološke funkcije, ali je pronađen u više od 1.000 vrsta terestrične i akvatične flore i faune. On je teški metal sa izrazitim negativnim uticajem za sve sastavnice okoline, zbog čega mu se i posvećuje posebna pažnja. Prirodni izvor kadmija je matični supstrat i najčešće se pojavljuje u sastavu sfalerita i galenita, tj. kao primjesa u sulfidnim rudama cinka i olova. Antropogena emisija kadmija u atmosferi javlja se kod proizvodnje i upotrebe kadmija i njegovih spojeva, odlaganja otpada koji sadrži kadmij, spaljivanja fosilnih goriva, proizvodnje cementa itd. Kadmij je prisutan u zemljištu kao njegov prirodni sastojak i njegov sadržaj iznosi 0,1-1,0 mg/kg zemljišta, odnosno 1-3 mg/kg na zraku suhog zemljišta. Sadržaj kadmija u zemljištu je relativno nizak, ali ima veliku sklonost nakupljanja, naročito u površinskom horizontu gdje dostiže visoke koncentracije i zbog toga je pristupačniji biljkama, za razliku od drugih teških metala u zemljištu. Antropogenim uticajem, kadmij u zemljište dospijeva uglavnom iz zraka.

Kadmij se apsorbira u tlu iz kojeg ga uzimaju biljke te tako, preko konzumacije hrane direktno ili preko životinja, ulazi u lanac ishrane. Kadmij može u organizmu zamijeniti cink, kalcij i kalij i teško ga je ukloniti. Prema Međunarodnoj agenciji za istraživanje raka (IARC) kadmij je klasificiran u Grupu 1 kancerogena, odnosno on je dokazani kancerogen za ljude i životinje. U ljudski organizam kadmij ulazi preko probavnog i disajnog sistema te preko kože. Kadmij je prvenstveno toksičan za jetru i bubrege, zatim probavni trakt, a hroničnim unosom uz nedovoljan unos kalcija ili zbog visokog unosa može se ugraditi u kosti. Zadržava se u bubrezima i jetri i do 40 godina, a nakuplja se i u kostima. Kadmij uzrokuje i druge negativne efekte kod ljudi kao što su reproduktivna toksičnost¹, teratogenost², negativne efekte na jetri, hematološke (negativan uticaj na krv), endokrine (sistem žlijezda sa unutrašnjim lučenjem) i imunološke (otpornost organizma na bolesti) efekte. Kadmij je prvenstveno toksičan za jetru i bubrege, zatim probavni trakt, a hroničnim unosom uz nedovoljan unos kalcija ili zbog visokog unosa može se ugraditi u kosti i izazvati tzv. itai-itai, tj. bolest bolnih kostiju.

¹ Reproduktivna toksičnost je pojam koji se odnosi na negativan uticaj zagađujuće tvari ili supstance na spermatogenezu u muškarca, negativan uticaj na menstrualni ciklus, mliječnost kod žena

² Teratogene zagađujuće tvari ili supstance negativno utiču na razvoj fetusa

4.3. NIKL

Zbog svojih jedinstvenih hemijskih i fizikalnih svojstava, te izvrsne otpornosti na koroziju u industrijskim procesima širom svijeta, nikl sudjeluje s 87% u proizvodnji legura i s 9% u procesu platiniranja. Radna izloženost jedinjenjima nikla ovisi o industrijskoj preradi i obično je znatno veća od izloženosti niklu koja nije povezana s radom. Oblik nikla na koji su radnici izloženi razlikuje se u različitim industrijama u kojima se nikl koristi i unosi se u organizam inhalacijom ili prilikom kontakta sa kožom (inhalacija je primarni put izloženosti), uz ingestiranje gdje je praksa industrijske higijene slaba. Obično uključuje inhalaciju jedne od sljedećih tvari: prašine relativno netopivih jedinjenja nikla, aerosola izvedenih iz nikalnih otopina (topivog nikla) i plinovitih oblika koji sadrže nikl (obično nikl karbonil).

Apsorpcija slobodnih iona nikla u probavnom traktu može biti 40 puta veća u odnosu na nikl u hrani vezan u obliku kompleksa. Apsorpcija nikla iz vode za piće povećava se kod gladovanja. Anorganski spojevi nikla se iz probavnoga trakta apsorbiraju oko 10% ili manje. Iako ne postoje posebne procjene za nikl, čini se da se topivi nikl, oslobođen iz materijala u dodiru s hranom, vrlo lako apsorbuje za razliku od nikla u hrani koji dolazi vezan u komplekse. Nikl prema IARC je klasificiran u Grupu 1 kancerogena, odnosno on je dokazani kancerogen za ljude i životinje. Nikl se prvenstveno apsorbuje kroz disajni sistem, a manje se absorbira u probavnom sistemu. Iako se veže na proteine plazme i brzo se uklanja iz bubrega. Kod ljudi, nuspojave spojeva nikla topivih u vodi javljaju se nakon kontakta s kožom i nakon inhalacije (koja uzrokuje iritaciju dišnih putova i astmu). Izlaganje ljudi anorganskim spojevima nikla netopivih u vodi obično se javlja putem udisanja dima ili prašine.

Akutna toksičnost nikla i njegovih jedinjenja je mala. Hronično trovanje može uzrokovati iritaciju kože i sluznica, te kontaktni dermatitis. Prema IARC postoji dovoljno dokaza da nikl i njegova jedinjenja uzrokuju rak pluća, nosne šupljine i paranasalnih sinusa. Kako bi se spriječilo onečišćenje vodenih sistema sa sadržajem teških metala, najčešće se koriste metode fizikalno-hemijskog prečišćavanja otpadnih voda. U fizikalno-hemijsko prečišćavanje otpadnih voda spadaju sljedeći postupci: adsorpcioni, ekstrakcioni, flotacioni, membranski i elektrohemijski postupci.

4.4. OLOVO

Olovo je plavkasto sivi metal koji se pojavljuje u malim količinama u zemljinj kori. Olovo je neesencijalni toksični teški metal sa izraženim negativnim uticajem na biološke sisteme. Iako olovo prirodno nastaje u okolišu, putem antropogenih aktivnosti kao što su: sagorijevanje fosilnih goriva, deponije i požari na deponijama, otpadni industrijski muljevi, olova iz đubriva na bazi fosfata, ispušni plinovi vozila i pesticidi doprinose oslobađanju veoma visokih koncentracija.

Nalazi se u obliku svojih spojeva: sulfata, sulfida i karbonata. Smatra se vodećim zagađivačem okoliša i sve više ugrožava živi svijet, posebno okoliš velikih industrijskih postrojenja, frekventnih saobraćajnica i velikih gradova. Akumulira se u površinskom horizontu zemljišta i sedimentima gdje dugo ostaje biodostupno, međutim ne pokazuje afinitet bioakumuliranju. Zbog njegovog izraženog toksičnog uticaja u Velikoj Britaniji je zabranjeno koristiti olovo u ribolovačkom priboru uslijed visoke stope smrtnosti kod labudova izazvane olovom. Hemijski oblici olova u vodenoj sredini su veoma složeni. Olovo ima osobinu da stvara jedinjenja male rastvorljivosti sa većinom aniona prisutnih u vodi. Količina olova u površinskim vodama zavisna je od pH vode i sadržaja rastvorenih soli u vodi.

Sadržaj olova u površinskim vodama široko varira u zavisnosti od izvora zagađivanja, sadržaja olova u sedimentu i osobina sredine (pH, temperature itd.). Trovanje olovom može biti akutno i hronično. Akutna izloženost može uzrokovati gubitak apetita, glavobolju, hipertenziju, bol u trbuhu, poremećaj bubrega, umor, nesanicu, artritis, halucinacije i vrtoglavice. Hronična izloženost olovu može dovesti do mentalne retardacije, poremećaja nastanka, psihoze, autizma, alergija, disleksije, gubitka tjelesne težine, hiperaktivnosti, paralize, mišićne slabosti, oštećenja mozga, oštećenja bubrega i čak može uzrokovati smrt.

IARC je klasificirao neorgansko olovo kao karcinogen Grupe 2A, odnosno on je vjerovatni kancerogenik za ljude (postoje jaki dokazi da olovo izaziva rak kod čovjeka, ali to još nije konačno zaključeno, nedovoljno dokaza za ljude i dovoljno dokaza za eksperimentalne životinje). Olovo uneseno u ljudsko tijelo brzo se apsorbuje u krvotok i veže za eritrocite (poluživot od oko 20-40 dana), a većina dugotrajnog skladištenog olova (90%) pohranjeno je u koštanom tkivu (poluživot od 20-30 godina). Iz koštanog tkiva postepeno se otpušta nazad u krvotok, osobito pri fiziološkim ili patološkim razdobljima demineralizacije kostiju kao što su trudnoća, dojenje i osteoporoza.

Olovo utiče na gotovo svaki sistem u tijelu, uključujući krv i krvožilni sistem, endokrini, probavni, imunološki, te reproduktivni sistem. Najkritičnije ciljno tkivo za olovo je središnji živčani sistem, osobito mozak u razvoju kod kojeg olovo može štetno djelovati na kognitivni razvoj i intelektualne performanse djece, čak i pri niskim nivoima izloženosti

4.5. ŽIVA

Jedini metal koji je u tečnom stanju pri običnoj temperaturi jeste živa. S obzirom da živa rastvara druge metale, ona na taj način gradi hemijska jedinjenja odnosno amalgame. Ne reaguje sa bazama i većinom kiselina, i na zraku je veoma stabilna. Procesi gdje se može doći u dodir sa živom i izložiti opasnostima od toksičnog djelovanja potiču iz dva izvora, prirodnog i antropogenog. Prirodni izvori su vulkanske erupcije, erozija tla a antropogeni primarno sagorijevanje fosilnih goriva, topljenje ruda i spalionice otpada. Uslijed korištenja žive u brojnim industrijskim granama, smatra se da je njen sadržaj u biosferi porastao u posljednjih 100 godina za tri puta.

Glavni izvori zagađenja žive uključuju antropogene aktivnosti kao što su poljoprivreda, ispuštanje komunalnih otpadnih voda, rudarstvo, spaljivanje i ispuštanje industrijskih otpadnih voda. Živa se javlja uglavnom u tri oblika: metalni elementi, neorganske soli i organska jedinjenja, od kojih svaka posjeduje različitu toksičnost i bioraspoloživost. Poznato je da živa isparava na sobnoj temperaturi, oko 70-80% živnih para se nakon inhalacije apsorbuje u organizam.

Preko digestivnog trakta apsorbuje se manje od 10% od unesene vrijednosti, a sve u zavisnosti u kojem obliku je živa unesena. U tijelu, elementarna živa oksidira u dvovalentnu i veže se za sulfhidrilne grupe. Jetra je organ u kojem se živa najduže zadržava. Konzumiranje akvatičnih životinja koje su kontaminirane predstavljaju glavni put izloženosti ljudi metil-živom. Metil živa predstavlja najtoksičniji oblik koji nastaje procesom metilacije pomoću metanogenih bakterija.

Metil živa je neurotoksično jedinjenje koje je odgovorno za uništavanje mikrotubula, oštećenje mitohondrija, peroksidaciju lipida i akumulaciju neurotoksičnih molekula kao što su serotonin, aspartat i glutamat. Karakteristika metil žive je njena gotovo cjelokupna apsorbcija iz probavnog trakta i njena distribucija u skoro sva tkiva. Ciljani organ za živu ipak ostaje mozak, međutim trovanje živom može uzrokovati i oštećenja nerava, bubrega i mišića.

Abiotička redukcija neorganske žive u metalnu živu može se takođe javiti u vodenim sistemima, posebno u prisustvu rastvorljivih huminskih supstanci (kisele vode koje sadrže huminsku i fulvinsku kiselinu). Ovaj redukcionni proces je povišen pri svjetlosti, javlja se u aerobnim i anaerobnim uslovima, i inhibiran je kompeticijom od strane hloridnih jona³.

Živa svoj toksični uticaj ispoljava blokiranjem funkcionalnih tiol grupa enzima što izaziva brojne poremećaje. S obzirom da se ne razgrađuje niti jednim procesom, ona ima negativan uticaj na okoliš. Stalna izloženost uticaju živinih para može kod ljudi izazvati različite poremećaje centralnog nervnog sistema, čije posljedice mogu biti: drhtanje, poremećaji sna, pa sve do gubitka pamćenja, depresije, delirija i halucinacija. Kod odraslih osoba male se količine žive u organizmu povezuju s hroničnim neurodegenerativnim bolestima, kao što su Perkinsonova bolest, Alzheimerova bolest, reumatoidni artritis itd., te poremećajima imunološkog sistema i alergijama. Prema tome, opasnost od trovanja živom za čovjeka ovisi o hemijskom obliku žive, količinama kojima je čovjek izložen, starosti osobe (fetus je najosjetljiviji), vremenu izloženosti, načinu izloženosti: udisanjem, unosom hrane, u kontaktu s kožom te prethodnim zdravstvenim stanjem osobe koja je izložena.

Prema IARC klasifikaciji metil živa je klasificirana kao mogući karcinogenik za ljude Grupa 2B. Elementarna živa i njeni neorganski spojevi pripadaju Grupi 3, odnosno nisu klasificirani kao uzročnici karcinoma kod ljudi. Međutim, to u svakom slučaju ne umanjuje izrazitu toksičnost žive za sve žive organizme.

³ Raša Đ. Milanov, Ispitivanje sadržaja teških metala i metaloida u tkivima rečne ribe kao pokazatelja bezbednosti mesa ribe i zagađenja životne sredine, Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, 2014.

5. UTICAJ TEŠKIH METALA NA KVALITET RIJEKE SPREČE I JEZERA MODRAC

Teški metali mogu se klasificirati na rastvorljive, izmjenjive (u organskim i neorganskim spojevima) i kao strukturalna nerastvorljiva komponenta minerala jezerskog ili riječnog sedimenta. Od svih navedenih formi teških metala najveći negativan uticaj imaju izmjenjivi (biodostupni) i rastvorljivi koje su biljke i pojedini mikroorganizmi sposobni usvojiti. Najveći negativan uticaj na biljni i životinjski svijet imaju arsen, živa, kadmij i olovo. Navedeni teški metali nisu esencijalni (potrebni živim organizmima). Kod biljaka inhibiraju (sprečavaju) proces fotosinteze, utiču negativno na morfološko-anatomska građu biljaka, akumuliraju se u korjenu, plodovima i na taj način ulaze u lanac ishrane. Teški metali inhibiraju mnoge važne biološke funkcije kod biljaka i životinja (npr. inhibira metabolizam željeza što se manifestuje hlorozom, narušavaju građu biomembrana, mijenjaju aktivnost enzima, spječava transpiraciju-kretanje vode kroz biljku, olovo može zamijeniti kalcij i uzrokovati osteoporozu, kadmij može zamijeniti cink što uzrokuje neplodnost itd.). Međutim i ostali teški metali: hrom, kobalt, mangan i nikl, u zavisnosti od koncentracije, mogu imati negativan uticaj na biljni i životinjski svijet.

U ovom istraživanju, osim teških metala, u obzir su uzeti i drugi parametri navedeni u poglavlju 5.2, a sve u cilju boljeg razumijevanja sinergetičkog uticaja različitih zagađujućih tvari na ekosistem rijeka Spreče, Turije i jezera Modrac. Pod uticajem zagađujućih tvari u vodama dolazi do primarnih, sekundarnih i tercijarnih promjena. Primarne promjene nastaju pri neposrednom uticaju zagađujućih tvari i izražavaju se u izmjenama fizičko-hemijskih i bioloških karakteristika vode, njenog sastava, temperature, plinskog režima i drugih uslova vezanih za život vodenih organizama. Ove promjene se nadalje pojačavaju složenim sekundarnim promjenama, nastalim pri međusobnoj reakciji zagađujućih tvari ili sa osnovnim sastojcima vode, pri čemu dolazi do obrazovanja novih tvari, koje negativno utiču na vodene organizme. Pri tome može doći do raspadanja (truljenja) i vrenja organskih sedimenta sa obrazovanjem toksičnih tvari, pojačanja ili slabljenja mineralizacije voda, biohemijskih procesa u vodama i zemljištima, kao i samoprečišćavanja voda⁴.

⁴ Raša Đ. Milanov, Ispitivanje sadržaja teških metala i metaloida u tkivima rečne ribe kao pokazatelja bezbednosti mesa ribe i zagađenja životne sredine, Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, 2014.

Istraživanja vezana za sadržaj teških metala u rijekama, jezerima, sedimentu i općenito vodenim organizmima su brojna u zadnjih nekoliko godina. Sediment je važan rezervoar za različite zagađujuće tvari kao što su različite vrste organskih zagađujućih tvari i teški metali, a također ima značajnu ulogu u remobilizaciji zagađujućih tvari u vodeni ekosistem. Interakcija između sedimenta i vode je stalna. Riba može da bude jedan od najznačajnijih indikatora zagađenja vode teškim metalima⁵ (Rashad i Barsoum, 2006).

U ovom istraživanju opredijelili smo se na ispitivanje sadržaja teških metala u vodi, mada su što je opće poznato najveće koncentracije u sedimentu. Sediment kopnenih voda ima manje arsena, a više žive i olova i približno isti sadržaj kadmija. Plankton akumulira teške metale i prenosi ih, odnosno taloži u sediment. Usljed aktivnosti mikroorganizama, a u zavisnosti od pH vrijednosti i fizičko-hemijskih procesa metali prelaze iz sedimenta u vodu ili formiraju metalna organska visoko toksična jedinjenja. Teški metali uključuju esencijalne i neesencijalne elemente koji imaju pojedinačno značaj u ekotoksikologiji zbog njihove visoke perzistencije (nemogućnost uklanjanja), a svi imaju potencijalni toksični efekat na žive organizme ^{6,7}.

⁵ Rashad S, Barsoum MD 2006. Chronic kidney disease in the developing world. *New Engl. J. Med.*, 354: 997-999

⁶ Öztürk M., Özözen G., Minareci O., Minareci E., 2009. Determination of heavy metals in fish, water and sediments of Avsar Dam Lake in Turkey, Iran. *J. Environ. Health. Sci. Eng.*, 6, 2, 73-80.

⁷ Lacatusu R, Citu G, Aston J, Lungu M, Lacatusu AR, 2009, Heavy metals soil pollution state in relation to potential future mining activities in the Rosia Montana area, Carpathian J. Earth Environ. Sci., 4, 39-50.

5.1 KVALITET VODOTOKA SPREČE, TURIJE I JEZERA MODRAC

Stanje vodnog tijela površinskih voda se, prema odredbi člana 32. stav 2. Zakona o vodama, određuje njegovim ekološkim i hemijskim stanjem, zavisno od toga koje je lošije. Ekološko stanje vodnog tijela površinskih voda se određuje na osnovu bioloških elemenata kvaliteta (bentički (makro) beskičmenjaci, riblje vrste, fitobentos i makrofite, fitoplankton) uzimajući u obzir hidromorfološke elemente kvaliteta i opće fizičko-hemijske parametre kvaliteta (pH vrijednost, rastvoreni kisik, BPK₅, HPK (KMnO₄), ukupni organski ugljik (TOC), amonijum jon (NH₄-N), nitrati (NO₃-N), ukupni azot (N), ortofosfati (PO₄-P), ukupni fosfor (P), kao i prisustvo relevantnih specifičnih zagađujućih materija. Hemijsko stanje vodnog tijela površinskih voda se određuje prema listi prioritetnih materija i određenih drugih zagađujućih materija.

Standard kvalitete okoliša (SKO) označava koncentraciju pojedine zagađujuće materije ili grupe zagađujućih materija u vodi, sedimentu ili bioti koja ne bi smjela biti prekoračena u cilju zaštite ljudskog zdravlja i okoliša. Usklađenost sa SKO se prati samo u odnosu na one zagađujuće materije, koje se unose u značajnim količinama u tijelo površinske vode. Iznosi su značajni, kada je izvjesno da je premašena polovina vrijednosti SKO. Prioritetne supstance u vodama određene su na osnovu toksičnosti, nerazgradivosti i bioakumulacije. Za ocjenu pojedinačnih pokazatelja hemijskog stanja voda u odnosu na prioritetne i prioritetne opasne materije primjenjuje se prosječna godišnja koncentracija (PGK) i maksimalna dozvoljena koncentracija (MDK). PGK je prosječna godišnja koncentracija zagađujućih materija iz Priloga 7. pomenute Odluke izmjerenih na tački mjerenja u različitim razdobljima tokom kalendarske godine i ne smije se premašiti unutar tijela površinske vode s ciljem izbjegavanja ozbiljnih nepovratnih dugoročnih posljedica za ekosisteme.

Stanje vodnoga tijela provjerava se i u odnosu na maksimalno dozvoljenu koncentraciju (MDK). MDK je maksimalna koncentracija pojedine zagađujuće materije iz Priloga 7. Odluke, koja se ne smije premašiti unutar tijela površinske vode s ciljem izbjegavanja ozbiljnih nepovratnih kratkoročnih posljedica za ekosisteme. Hemijsko stanje vodnoga tijela u odnosu na prioritetne zagađujuće materije iz Priloga 7. ove Odluke određuje se kao dobro kad je prosječna koncentracija svake od supstanci manja ili jednaka standardu kvaliteta okoliša, a maksimalna izmjerena koncentracija svake supstance je manja od maksimalne dozvoljene koncentracije. Otpadne materije kao rezultat antropogenih aktivnosti u većini slučajeva završavaju u vodotocima čime na posredan način utiču, najčešće negativno, na kvalitet slatkovodnih ekosistema.

Poznavanje kvalitete površinskog vodotoka od presudnog je značaja za određivanje stanja vodnog ekosistema, odnosno korištenja takve vode za navodnjavanje, rekreacijske svrhe ili kao pitke vode. Na formiranje riječnog ili jezerskog ekosistema dominantan uticaj ima sediment (supstrat). Unošenjem onečišćujućih tvari, sediment se zagađuje za duži vremenski period, a time dugoročno utiče na floru i faunu vodnog tijela. Za ocjenu stanja kvaliteta rijeke Spreče i Turije i jezera Modrac korišteni su podaci Javnog preduzeća za vodoprivrednu djelatnost Spreča. U tabeli 5.1 predstavljeni su objedinjeni rezultati pojedinih parametara koji utiču na kvalitet rijeke Spreče i Turije, a u tabeli 5.2 na kvalitet jezera Modrac. Prema Odluci o karakterizaciji površinskih i podzemnih voda, referentnim uslovima i parametrima za ocjenu stanja voda i monitoringa voda („Službene novine FBiH”, br. 01/14) rijeka Spreča⁸ pripada kategoriji Tip 5 Male i srednje velike ravničarske i brdske rijeke sa srednje krupnim supstratom dna. Za određivanje trofičnog statusa jezera Modrac korištene su vrijednosti fizičko-hemijskih elemenata za dinaridsko srednje veliko plitko nizinsko jezero na organskoj podlozi.

Tabela 5.1 Rezultati analize kvaliteta rijeka Spreče i Turije za period mart 2018.-decembar 2018. godine

Parametar	Jedinica	Spreča ušće	Turija ušće	Spreča ispred brane	Kriterij za ocjenu ⁹	Referentna vrijednost ¹⁰ za tip 5
pH vrijednost	-	8,3	8,5	8,2	<7,0 - >9,0	7,0-8,6
Rastvoreni kisik	mg/l	9,1	9,3	7,0	6,0-5,0	<7,0
BPK ₅	mg/l	3,7	1,8	2,9	6,0-8,0	<4,0
HPK permanganat	mg/l	55,2	5,1	5,5	7,0-12,0	<4,0
Amonijum jon (NH ₄ -N)	mg/l	0,18	0,19	0,13	0,25-0,70	<0,10
Nitrati (NO ₃ -N)	mg/l	1,9	1,6	0,7	2,0-5,0	<1,00
Ortofosfati (PO ₄ -P)	mg/l	0,47	0,2	0,16	0,10-0,20	<0,05
Ukupan N	mg/l	2,3	1,7	1,15	3,0-10,0	<1,5
Ukupan P	mg/l	2,9	0,82	0,97	0,20-0,40	<0,10
Suspendirane tvari	mg/l	321,08	73,51	38,12	-	-



Tabela 5.2 Rezultati analize kvaliteta jezera Modrac za period mart 2018.- decembar 2018. godine

Parametar	Jedinica	Sredina jezera	Ispred ušća Spreče	Ispred Prokosovića	Ispred brane
Temperatura	°C	17,47	17,63	17,52	17,66
pH vrijednost	-	8,46	8,47	8,47	8,46
Rastvoreni kisik	mg/l	11,33	10,96	9,99	10,89
Amonijum jon (NH ₄ -N)	mg/l	0,11	0,09	0,094	0,089
Nitrati (NO ₃ -N)	mg/l	0,65	0,59	0,64	0,92
Ortofosfati (PO ₄ -P)	mg/l	0,09	0,08	0,08	0,09
Ukupan N	mg/l	0,87	0,77	0,77	1,12
Ukupan P	mg/l	1,060	1,105	1,037	1,056
Suspendirane tvari	mg/l	45,12	50,32	49,84	44,4

Tabela 5.3 Vrijednosti fizičko-hemijskih elemenata kvalitete za jezero Modrac

Trofija/stanje	Ukupni P, mg/l	Sredina jezera
Visoko	<0,03	<0,5
Dobro	0,03 – 0,05	0,5 – 1,0
Umjereno	0,05 – 0,1	>1,0

Na osnovu rezultata analize prikazane u tabeli 5.1 može se zaključiti da parametri prelaze vrijednosti u odnosu na referentnu vrijednost za kategoriju Tip 5 vodotoka. To znači da su analizirani vodotoci značajno izmjenjeni u odnosu na prirodno stanje, odnosno na kvalitet vode koji bi imali da vladaju prirodni uslovi. U odnosu na zadati kriterij za ocjenu fizičko – hemijskih elemenata kvalitete, ono što je posebno uočljivo je visoka HPK vrijednost rijeke Spreče u koncentraciji od 55,2 mg/l što je 4,5 puta više u odnosu na gornji kriterij od 12 mg/l. Takođe, iznad kriterija je i koncentracija ortofosfata. Prisustvo ukupnih fosfata iznad zadanog kriterija uočeno je na svim mjernim mjestima, što ukazuje na zagađenje fosforom i značajan unos ovog nutrijenta u riječni i jezerski ekosistem.

Na osnovu parametara prikazanih u tabeli 5.1, može se zaključiti da su rijeke Spreča i Turija ugrožene antropogenim aktivnostima u svojim slivnim područjima. Prema sadržaju suspendiranih materija i hemijskoj potrošnji kisika, Spreča pripada najlošijoj IV kategoriji vodotoka.

Prema istim parametrima, rijeka Turija pripada III kategoriji. Izvor fosfora u površinskim vodama uglavnom predstavljaju deterđenti i vještačka gnojiva, a u manjoj mjeri insekticidi na bazi organofosfornih jedinjenja. Fosfor je osnovni nutritivni element bez kojeg nije moguć opstanak vodenih ekosistema, ali u visokim koncentracijama uzrokuje tzv. eutrofikaciju što se ogleda u naglom rastu algi posebno na površinskom dijelu. Na taj način na površini vodotoka formira se gusti sloj koji sprečava prodiranje svjetlosti i prirodno rastvaranje kisika iz zraka u vodu, odnosno dolazi do uginuća planktona i razvoja različitih vrsta bakterija. Pojava eutrofikacije dugogodišnja je pojava u različitim dijelovima njenog toka, a posebno je izražena u blizini dubinskih bunara koji se koriste za snabdjevanja grada Lukavca vodom.

Alge imaju vrlo kratak životni vijek, a njihovo odumiranje rezultira ispuštanjem u vodu cijanotoksina (skupine vrlo toksičnih spojeva, a za pojedine još nije utvrđen stepen negativnog uticaja na čovjeka). Oko 50% cijanobakterija, koje ulaze u sastav eutrofične biomase, ima sposobnost ispuštanja cijanotoksina. Dosadašnja istraživanja su pokazala povezanost različitih oboljenja kod ljudi sa specifičnim cijanotoksinima. U jezerskim ekosistemima uočena je dominantna uloga azota u nastajanu cijanotoksina¹¹ u odnosu na obogaćenje fosforom¹². U zemljama širom svijeta zabilježeno je 60.000 incidentnih trovanja i stopa smrtnosti od 1,5% na godišnjem nivou. U područjima koja koriste vodu iz akumulacionih jezera ili vodotoka koji su zahvaćeni eutrofikacijom uzrokovanom cijanobakterijama uočen je povećan broj primarnih tumora jetre.

Azot se u vodi može pojaviti u četiri oblika: slobodni amonijačni, u obliku nitrita i nitrata i kao organski (albuminoidni). Prisustvo amonijačnog jona ukazuje na prisustvo nerazgrađene organske tvari. Takođe, to ukazuje na početnu fazu oksidacije prisutne organske tvari, odnosno da je zagađenje vode u početnoj fazi. Organski ugljik prisutan u vodi predstavlja količinu azota prije početka razlaganja. Prisustvo nitrita ukazuje da je dio organske tvari u vodi se dijelom razložio (oksidirao). U osnovi predstavlja intermedijarni stepen razlaganja prisutne organske tvari. Visoke koncentracije nitrata ukazuju da je organska materija prisutna u vodi u potpunosti se razložila (oksidirala), odnosno ukazuje da je vodno tijelo već duži period pod uticajem zagađenja. Prisustvo amonijum jona i nitrata iznad referentnih vrijednosti je jasan indikator kontinuiranog, višedecenijskog zagađenja rijeke Spreče, Turije i jezera Modrac organskom tvari.

¹¹ Damjana Drobac Nada Tokodi Jelica Simeunović Vladimir Baltić Dina Stanić Zorica Svirčev (2013): Human exposure to cyanotoxins and their effect on health, Arh Hig Rada Toksikol, 64:305-316.

¹² Andrew M. Dolam Jacqueline Rucker Frances R. Pick Jutta Fastner Thomas Rohrlack Ute Mischke Claudia Wiender (2012): Cyanobacteria and Cyanotoxins: The influence of Nitrogen versus Phosphorus, Uppsala University, Sweden.

Otpadna voda sa ovako visokom vrijednosti HPK u rijeci Spreči (prosječna vrijednost 55,2 mg/l) uzrokuje povećanu potrošnju rastvorenog kisika, koji umjesto da se troši za održavanje života u riječnom ekosistemu, isti se troši na oksidaciju prisutnih organskih tvari u ispuštenoj otpadnoj vodi. Na ovaj način se smanjuje količina dostupnog kisika u vodnom tijelu. Visoka HPK vrijednost je pokazatelj prisustva visoke koncentracije različitih organskih spojeva koji su oksidirali u neorganske spojeve.

Na osnovu prosječnih mjesečnih vrijednosti sadržaja ukupnog fosfora i azota, može se zaključiti da se jezero Modrac i rijeke Spreča i Turija nalaze u trofičnom stanju zato što je granična vrijednost za fosfor za jezera 0,1 mg/l, a za rijeke 0,3 mg/l, a mjerenjima se dobilo da je prosječna izmjerena vrijednost za sredinu jezera 0,97 mg/l, a iznad brane 1,04 mg/l, na ušću rijeke Spreče 2,77 mg/l, a na ušću Turije 1,04 mg/l što jasno pokazuje u kakvom su stanju.

U odnosu na koncentracije ukupnih suspendiranih tvari prikazanih u tabeli 5.1 kao i protoka rijeke Spreče i Turije na ušću u jezero Modrac, odnosno protoka Spreče ispod brane kreiran je bilans fosfora, azota i suspendiranih tvari za jezero Modrac. Bilans fosfora, azota i ukupnih suspendiranih tvari prikazani su u tabeli 5.4.

Tabela 5.4 Bilans fosfora, azota i ukupnih suspendiranih tvari za jezero Modrac

Parametar	Spreča ušće	Turija ušće	Spreča ispod brane	Deponirano u jezeru Modrac
Ukupni P, t/god	971,55	102,53	380,13	693,96
Ukupni N, t/god	796,05	218,30	447,94	566,41
Suspendirane tvari, t/god	107.315,9	9.101,9	14.788,42	101.629,5

Ukupne suspendirane tvari predstavljaju ukupan sadržaj vrste materije u uzorku, bilo da je prisutna u suspendovanom, koloidnom ili rastvorenom obliku. Ukupne suspendirane tvari svoj negativan uticaj na vodotok ostvaruju smanjenjem količine sunčeve svjetlosti koja prodire u vodno tijelo pri čemu se smanjuje ili u potpunosti prekidaju procesi fotosinteze kod akvatične flore. Izostanak fotosinteze i stvaranje površinskog sloja smanjuje količinu rastvorenog kisika prisutnog u vodi. Suspendirane tvari predstavljaju nosioce drugih zagađujućih tvari koje se adsorbiraju na njihovu površinu. Iz tabele 5.4 je vidljivo da najveći doprinos suspendiranim tvarima doprinosi Spreča sa prosječnom godišnjom koncentracijom od 107.315,9 t/god, na osnovu bilanse u jezeru Modrac ostane 101.629 t/god. Podaci se odnose za 2018. godinu. Takođe, vidljivo je da značajne količine fosfora i azota ostaju u jezeru

Modrac, što u pogodnom trenutku može izazvati eutrofikaciju jezera i pojavu cijanobakterija.

Ortofosfati su jedan od tri oblika u kojima se javlja fosfor, vrlo su reaktivni i veoma lako stupaju u reakcije. Oni su rastvorljivi oblik fosfora koji biljke i alge direktno usvajaju. U jezerima koncentracija ortofosfata se mijenja zbog brzog usvajanja od strane biljaka. U jezerskim ekosistemima fosfor je limitirajući nutrijent, što znači da biljke i alge u jezeru imaju u višku sve ono što im je potrebno za rast (voda, toplina, sunčeva svjetlost, azot) osim fosfora. Fosfor ima direktan i limitirajući uticaj na rast biljaka i algi, pa što je više fosfora dostupno, više biljaka i algi je u jezeru. Glavni izvori fosfora su animalni otpad, deterdženti, komunalne otpadne vode i otpadne vode sa poljoprivrednih površina.

Drugi način povećanja koncentracije fosfora je njegovo otpuštanje iz jezerskog sedimenta. Ova pojava se najčešće dešava u kasno ljeto ili kasno zimu. U ovom periodu dno jezera postane anoksično, hemijski procesi u sistemu sediment/voda uzrokuju oslobađanje fosfora iz sedimenta. Ovaj fenomen se naziva unutarnji doprinos (unutarnje punjenje), jer fosfor dolazi iz jezera (sedimenta). Uz fosfor pri anoksičnim uslovima u vodno tijelo se oslobađaju i pojedini teški metali poput Mn i Fe. Jedini način reguliranja rasta biljaka i algi je smanjenje unosa fosfora u jezero.

5.2. REZULTATI ANALIZE SADRŽAJA TEŠKIH METALA

Analize sadržaja teških metala u riječnim i jezerskim ekosistemima daju i odgovore o eventualnom aditivnom i sinergijskom delovanju teških metala. U ekosistemu tekućih voda, suspendovana materija i perifitonska masa pokazuju najviše nivoe koncentracije teških metala. Srednji nivo akumulacije može se osmotriti kod bentičke faune i podvodne flore, dok se najmanji faktori koncentracije nalaze u ribljim mišićima¹³. Jedna od karakteristika rijeke Spreče je njen longitudinalni prekid kontinuiteta vodotoka izgradnjom brane, odnosno formiranjem akumulacije Modrac. Prekid u kontinuitetu predstavlja prekid i u staništu pojedinih predstavnika ihtiofaune, ali i formiranje novih staništa sa specifičnim vrstama flore i faune. Navedeni prekid u kontinuitetu toka uzrokuje da većina zagađujućih tvari iz slivnog područja jezera Modrac se taloži u jezerskom sedimentu ili se razrjeđuje u samom jezeru. Međutim, količina unesenog zagađenja se vremenom koncentrira i može dostići takve koncentracije koje će u jednom trenutku uzrokovati ozbiljne posljedice na jezerski ekosistem. Teški metali djeluju naročito nepovoljno na riblju mlad. U cilju određivanja sadržaja teških metala i njihovog uticaja na hemijski kvalitet rijeke Spreče i Turije, jezera

Modrac, odnosno da se istraži unos teških metala u lanac ishrane, od strane akreditirane laboratorije izvršena je analiza uzoraka vode sa slijedećih mjernih mjesta:

- Jezero Modrac – brana,
- Jezero Modrac,
- Spreča most u Puračiću,
- Turija,
- Spreča u blizini naselja Suha,
- Potok Banovac u blizini TE Tuzla.

Mjerenja su vršena u periodu august – septembar 2019. godine kako bi se dobili što reprezentativniji rezultati obzirom da je u tom periodu vodostaj najniži. U cilju određivanja potencijalnog sadržaja teških metala u ribi, izvršena je analiza ribe babuške (*Carrasius gibelio*). Pozicije mjernih mjesta prikazane su na slici 5.1.



Slika 5.1 Pozicije mjesta uzimanja uzoraka

Obzirom da se radi o površinskim vodnim tijelima, poređenje utvrđenih vrijednosti sa граниčnim izvršeno je na osnovu Odluke o karakterizaciji površinskih i podzemnih voda, referentnim uslovima i parametrima za ocjenu stanja voda i monitoring voda ("Službene novine FBiH", br. 1/14). U tabelama 5.5., 5.6. i 5.7. prikazane su izmjerene vrijednosti slijedećih teških metala: Ni, Cd, Pb, As i Hg. U tabeli 5.8 prikazane su prosječne koncentracije teških metala u periodu istraživanja.

.....
¹³ Wachs B., (1991), Okobewertung der Schwermetallbelastung von Fließgewässern. -Munchener Beitr. Abwasser - Fischerei u. Flußbiol., 45, 295-335.

Tabela 5.5 Koncentracije teških metala u uzorcima vode za august 2019. godine – I mjerjenje

Mjerno mjesto	Teški metal, µg/l					Referentna vrijednost ¹⁴ , µg/l
	Ni	Cd	Pb	As	Hg	
Jezero Modrac Brana	50,2 ± 0,001	12,3 ± 0,010	81,0 ± 0,001	< 0,05	< 0,0001	Ni = 20 Cd = ≤0,45-1,5 Pb = 7,2 As = 20 Hg = 0,07
Jezero Modrac	42,4 ± 0,001	1 ± 0,010	60,9 ± 0,001	< 0,05	< 0,0001	
Spreča most u Puračiću	146,5 ± 0,01	25,4 ± 0,01	307,1 ± 0,02	810	< 0,0001	
Turija	35,3 ± 0,001	2,0 ± 0,010	102,4 ± 0,010	< 0,05	< 0,0001	
Spreča naselje Suha	54,2 ± 0,001	5,8 ± 0,010	83,6 ± 0,001	< 0,05	< 0,0001	
Potok Banovac	59,1 ± 0,001	12,1 ± 0,010	128,8 ± 0,010	< 0,05	< 0,0001	

Tabela 5.6 Koncentracije teških metala u uzorcima vode za august 2019. godine – II mjerjenje

Mjerno mjesto	Teški metal, µg/l					Referentna vrijednost, µg/l
	Ni	Cd	Pb	As	Hg	
Jezero Modrac Brana	43,8 ± 0,0001	11,3 ± 0,0001	228,8 ± 0,002	< 0,05	< 0,0001	Ni = 20 Cd = ≤0,45-1,5 Pb = 7,2 As = 20 Hg = 0,07
Jezero Modrac	40,8 ± 0,0001	8,2 ± 0,0001	211,7 ± 0,002	< 0,05	< 0,0001	
Spreča most u Puračiću	42,7 ± 0,0001	8,0 ± 0,0001	142,7 ± 0,001	200,0	< 0,0001	
Turija	40,1 ± 0,0001	6,8 ± 0,0001	155,2 ± 0,001	< 0,05	< 0,0001	
Spreča naselje Suha	23,1 ± 0,0001	3,9 ± 0,0001	143,1 ± 0,001	< 0,05	< 0,0001	
Potok Banovac	50,6 ± 0,0001	13,2 ± 0,0001	241,9 ± 0,02	< 0,05	< 0,0001	

¹⁴ Odluka o karakterizaciji površinskih i podzemnih voda, referentnim uslovima i parametrima za ocjenu stanja voda i monitoring voda ("Službene novine FBiH", br. 1/14). Tabela 6. Standardi kvalitete okoliša (SKO) za specifične zagađujuće materije

Tabela 5.7 Koncentracije teških metala u uzorcima vode za septembar 2019. godine – III mjerjenje

Mjerno mjesto	Teški metal, µg/l					Referentna vrijednost, µg/l
	Ni	Cd	Pb	As	Hg	
Jezero Modrac Brana	39,6±0,001	10,2±0,010	126,2±0,010	< 0,05	< 0,0001	Ni = 20 Cd = <0,45-1,5 Pb = 7,2 As = 20 Hg = 0,07
Jezero Modrac	46,9±0,001	2,9±0,010	156,1±0,001	< 0,05	< 0,0001	
Spreča most u Puračiću	37,1±0,010	12,4±0,010	129,6±0,010	150,0	< 0,0001	
Turija	49,2±0,001	7,1±0,010	169,7±0,010	< 0,05	< 0,0001	
Spreča naselje Suha	19,6±0,001	2,5±0,010	161,2±0,010	< 0,05	< 0,0001	
Potok Banovac	50,1±0,001	13,9±0,010	261,1±0,010	< 0,05	< 0,0001	

Na temelju rezultata analize prikazanih u navedenim tabelama, možemo uočiti vrlo visoke koncentracije Pb na svim mjernim mjestima, kao i ekstremno visoku koncentraciju As od 810 µg/l što je 40,5 puta veće od standarda kvalitete okoliša za As na mjernom mjestu most u Puračiću. Prosječna izmjerena koncentracija Pb u rijeci Spreči u periodu mjerenja je iznosila 129,3 µg/l dok je najveća izmjerena bila 143,1 µg/l. Osim Pb u rijeci Spreči, neposredno prije ušća u jezero Modrac, prisutan je i Cd, čija prosječna koncentracija je bila 3,77 µg/l, a maksimalno izmjerena 5,8 µg/l.

Takođe, prosječna koncentracija Ni od 32,3 µg/l je iznad referentne vrijednosti za ovaj tip vodotoka. Teški metali u jezero Modrac dopijevaju i rijekom Turijom, prosječna koncentracija Pb iznosi 142,43 µg/l, Cd 5,3 µg/l i Ni 41,53 µg/l. Maksimalna izmjerena koncentracija za Pb je iznosila 169,7 µg/l, a za Cd 7,1 µg/l. Na visoke koncentracije Pb u slatkovodnim ekosistemima utiču otpadne vode sa poljoprivrednih površina, otpad sa farmi posebno od uzgoja peradi i komunalne otpadne vode. Obzirom na visok unos Pb Sprečom i Turijom, analiza vode jezera Modrac takođe pokazuje visoke koncentracije ovog elementa. Najveća izmjerena koncentracija Pb iznosi 228,8 µg/l na mjernom mjestu Brana dok je prosječna koncentracija u periodu mjerenja iznosila 144,1 µg/l. Visoke koncentracije Pb prati Cd, čija prosječna izmjerena koncentracija je bila 7,65 µg/l, najveća izmjerena 12,3 µg/l, dok je najmanja iznosila 1 µg/l. Na mjernom mjestu Spreča most u Puračiću zabilježene su ekstremno visoke koncentracije As u količini od 810 µg/l, čija prosječna koncentracija je iznosila 386,6 µg/l.

Obzirom da su površinske vode uvijek u vezi sa podzemnim, postoji povećan rizik da će As, Pb i Cd zagaditi podzemne vode koje se prihranjuju vodom iz jezera Modrac, rijeke Spreče i Turije.

Tabela 5.8 Prosječna koncentracija teških metala u periodu istraživanja

Mjerno mjesto	Teški metal, µg/l					Referentna vrijednost, µg/l
	Ni	Cd	Pb	As	Hg	
Jezero Modrac Brana	44,53	11,27	145,33	< 0,05	< 0,0001	Ni = 20 Cd = ≤0,45-1,5 Pb = 7,2 As = 20 Hg = 0,07
Jezero Modrac	43,37	4,03	142,90	< 0,05	< 0,0001	
Spreča most u Puračiću	75,43	15,27	193,13	386,6	< 0,0001	
Turija	41,50	5,30	142,43	< 0,05	< 0,0001	
Spreča naselje Suha	32,30	4,067	129,30	< 0,05	< 0,0001	
Potok Banovac	53,27	13,07	210,6	< 0,05	< 0,0001	

Potok Banovac koji u svom gornjem toku protiče deponijama šljake i pepela Plane, Divkovići I i Divkovići II značajno doprinosi zagađenju rijeke Jale olovom i kadmijem. Najveća izmjerena koncentracija Pb je iznosila 261,1 µg/l a Cd 13,7 µg/l. Obzirom da se već nekoliko godina ne vrši odlaganje šljake i pepela na pomenutim deponijama, potok Banovac nije posmatran kao ispušt tehnoloških otpadnih voda već kao prirodni površinski vodotok pod jakim antropogenim uticajem.

Uzimajući u obzir činjenicu da prema ranijim istraživanjima vezanim za sadržaj teških metala u sedimentu rijeke Spreče i Jale, poljoprivrednom zemljištu plavnog područja nizvodno od Lukavca kao i predmetnim istraživanjem, možemo zaključiti da nije moguće izbjeći izlaganje opće populacije stanovništva teškim metalima. Danas je poznato preko 20 različitih teških metala koji mogu izazvati niz negativnih uticaja na ljudsko zdravlje¹⁵. Treba napomenuti da i esencijalni elementi poput bakra (Cu) mogu uzrokovati toksične uticaje ukoliko se u organizam unose u visokim koncentracijama. U tabeli 5.9 prikazan je unos teških metala u jezero Modrac u odnosu na poznati protok i koncentraciju metala u Spreči i Turiji.

¹⁵ Dural, M., Goksu, M. Z. L. and A. A. Ozak (2007): Investigation of heavy metal levels in economically important fish species captured from the Tuzla lagoon. Food Chem. 27, 521-526

Tabela 5.4 Bilans fosfora, azota i ukupnih suspendiranih tvari za jezero Modrac

Parametar	Spreča ušće	Turija ušće	Ukupno uneseno u jezero Modrac
Ni (t/god)	12,69	6,13	18,83
Cd (t/god)	1,50	0,78	2,29
Pb (t/god)	51,55	21,03	72,58

U tabeli 5.10 prikazane su prosječne koncentracije analiziranih teških metala u mišićnom mesu babuške (*Carrasius gibelio*). Analizirana je cijela riba, obzirom da ovo istraživanje obuhvata i humanističko-ekološki aspekt analiziranog područja.

Tabela 5.10 Koncentracije teških metala u uzorku ribe, (*Carrasius gibelio*)

Teški metal	Izmjereno, mg/kg	Granična vrijednost ¹⁶ , mg/kg	Commission Regulation (EC) No 1881/2006 and No 629/2008 ¹⁷	Hrvatska ¹⁸
Ni	1,0±0,05	-	-	-
Cd	0,2±0,01	0,05	0,05	0,05
Pb	2,6±0,13	0,3	0,3	0,2
As	<0,05	0,5	-	2,0
Hg	<0,0001	0,5	0,5	0,5

Bioakumulacija je proces gdje koncentracija neke tvari u akvatičnom organizmu dostiže takve vrijednosti koje su više od onih koncentracija koju ta tvar ima u vodi, a rezultat je hemijskog usvajanja putem hemijske izloženosti (npr. apsorbcijom putem hrane, preko respiratornog sistema, apsorpcijom preko kože). Bioakumulacija predstavlja kombinaciju hemijskog biokoncentriranja i biomagnifikacije. Stepenn bioakumulacije se obično izražava u obliku bioakumulacionog faktora (BAF) koji predstavlja odnos koncentracije u organizmu CB i vodi Cwa izračunava se preko relacije:

$$BAF=CB/CF$$

¹⁶ Pravilnik o maksimalno dozvoljenim količinama za određene kontaminante u hrani ("Službeni glasnik BiH" br 37/09 i 3/12)

¹⁷ The Commission of the European Communities No 1881/2006 and No 629/2008 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs

¹⁸ Pravilnik o toksinima, metalima, metaloidima te drugim štetnim tvarima koje se mogu nalaziti u hrani ("arodne novine", broj 16/05)

Bioakumulacijski faktor predstavlja bezdimenzionalnu vrijednost prenosa prisutnog metala iz vode u organizam ribe. Bioakumulacija teških metala u ribama zavisi od vrste, načina ishrane, veličine ribe i starosti. Prema ranijim istraživanjima od različitih autora, najveće zabilježene koncentracije teških metala nalaze se u jetri¹⁹. Izračunati bioakumulacijski faktor za Cd iznosi 26,14, a za Pb 18,04. Osim olova prisutnog u vodi, i sediment bi mogao predstavljati jedan, ako ne i glavni izvor kontaminacije olovom analizirane ribe, obzirom da je ova vrsta koja se većinom hrani pri samom dnu.

Ovako visoke koncentracije Pb i Cd u ribi koja se ne nalazi na vrhu lanca ishrane ukazuje na moguću dalju biomagnifikaciju teških metala i njihove vrlo visoke koncentracije u predstavnicima ihtiofaune na vrhu lanca ishrane. Prema (WHO) maksimalni dnevni unos olova za odraslu osobu ne bi trebao da prelazi 450 µgPb/dan. U analiziranom uzorku ribe količina Pb iznosi 2600 µg što je 5.7 puta više od preporučenog dnevnog unosa. Kadmij je jedan od najtoksičnijih teških metala. U komparativnim testovima akutne toksičnosti, od svih 63 teška metala iz periodnog sistema elemenata, Cd je pokazao najveću toksičnost. U vodenim sistemima organizmi najlakše apsorbiraju Cd direktno iz vode u njegovom slobodnom jonskom obliku.

Prisustvo Cd u akvatičnoj fauni ukazuje na zagađenje vodnog tijela, a posebna opasnost krije se u činjenici da je Cd sklon bioakumulaciji. Iako je unos Cd u odnosu na Pb u jezero Modrac značajno manji, a što je vidljivo iz tabele 6.9, zbog lakšeg usvajanja od strane mikroorganizama on je prisutan i u analiziranom uzorku ribe. Bioakumulacija Cd za vodene organizme se kreće od 3 do 4190 (ASTER, 1995) vode, a zatim preko hrane. Posebna karakteristika Cd je njegovo akumuliranje u svim nivoima lanca ishrane. RIBE absorbiraju metalne jone preko škrga i kože. Koprnene životinje unose arsen i teške metale preko hrane i inhalacijom, a ribe, sa izuzetkom onih koje su u jako zagađenoj sredini, najveći dio arsena i teških metala unose preko škrga. Sprečavanje kontaminacije ihtiofaune jezera Modrac, Spreče i Turije je imperativ sa stanovišta humano-toksikološkog aspekta.

U slučaju monitoringa teških metala, posebno toksičnih u pogledu sigurnosti ribe kao hrane, ona je različita od posmatranja u ekološkom smislu. Ovdje se nivo teških metala ograničava samo na meso (jestivi deo). Različiti istraživači, ispitujući sadržaj teških metala kod mnogobrojnih vrsta riba, utvrdili su da je sadržaj teških metala niži u jestivom tkivu nego u jetri i škrgama. Zapažene su i razlike u sadržaju

¹⁹ A. A. Bawuro, R. B. Voegborlo, and A. A. Adimado (2018): Bioaccumulation of Heavy Metals in Some Tissues of Fish in Lake Geriyo, Adamawa State, Nigeria, *Journal of Environmental and Public Health*, Vol. 2018, Article ID 1854892, 7 pages. <https://doi.org/10.1155/2018/1854892>

teških metala u zavisnosti od vrste riba. Samo kod žive je utvrđeno da njen sadržaj u mesu riba zavisi od biomagnifikacije (ishrana). Kod ostalih teških metala, njihov sadržaj u zavisnosti je od trofičnog nivoa ribe²⁰.

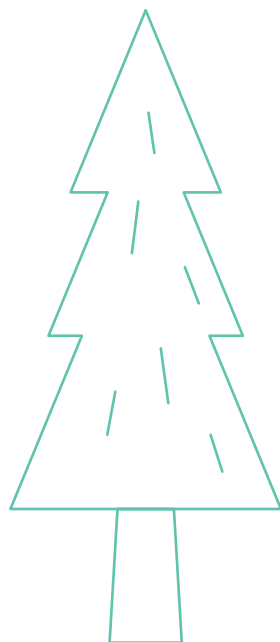
Na osnovu pregleda dostupnih radova iz oblasti sadržaja teških metala u ribi i ljudima koji konzumiraju ribu, utvrđeno je postojanje korelacije između teških metala u ribi i sadržaja istih metala u krvi ispitanika. I eksperimentalni podaci pokazuju prenos Cd iz vode u organizam ribe. Tako su (De Conto-Cinter et al., 1988) izlagali šarana vodi u kojoj je koncentracija Cd iznosila 450 µg/l i količina Cd se vrlo brzo povećavala u jetri i bubrezima do nivoa zasićenja. Količina olova u mesu ribe (tolstolobik) iz rijeke Dunav kretala se od 1,5 mg/kg do 1,6 mg/kg, kadmija od 0,267 mg/kg do 0,299 mg/kg, u mesu šarana koncentracija olova je bila od 0,182 mg/kg do 0,344 mg/kg, kadmija 0,254 mg/kg do 0,394 mg/kg, u mesu soma sadržaj olova se kretao od 0,083 mg/kg do 0,273 mg/kg, kadmija od 0,242 mg/kg do 288,53 mg/kg. U somu ulovljenom u rijeci Savi sadržaj Cd je iznosio 0,03 mg/kg i šaranu 0,285 mg/kg. U ribama ulovljenim u dijelu Dunava koji protiče kroz Hrvatsku, sadržaj Pb za biljojedne vrste riba je iznosio 0,039 mg/kg, a za Cd 0,013 mg/kg. Vidljivo je da analizirana riba iz jezera Modrac ima povišenu koncentraciju olova u odnosu na prezentirane podatke, a da je koncentracija Cd u okviru sličnih rezultata dobivenim od strane različitih autora.

²⁰ Raša Đ. Milanov, Ispitivanje sadržaja teških metala i metaloida u tkivima rečne ribe kao pokazatelja bezbednosti mesa ribe i zagađenja životne sredine, Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, 2014.

6. ZAKLJUČCI I PREPORUKE

- Na istraživanom profilu rijeke Spreče u periodu mart 2018. – decembar 2018. godine utvrđene su visoke vrijednosti HPK od 55,2 mg/l, ortofosfata od 0,47 mg/l i ukupnog fosfora od 2,9 mg/l što ukazuje na zagađenje uzrokovano antropogenim aktivnostima. Prema sadržaju suspendiranih tvari, rijeka Spreča klasificira se u najlošiju kategoriju vodotoka (IV kategorija).
- Na istraživanim profilima rijeke Turije i Spreče ispod brane utvrđene su povišene vrijednosti ukupnih fosfata od 0,82 mg/l, odnosno 0,97 mg/l, što može uzrokovati pojavu cijanobakterija.
- Analiza kvalitete vode jezera Modrac ukazuje na visoku koncentraciju ukupnog fosfora od 1,05 mg/l, ukupnog azota 1,12 mg/l što ukazuje da se jezero Modrac nalazi u trofičnom stanju. Utvrđen je i značajan unos suspendiranih tvari u jezero u količini od 116.417 t/god.
- U analiziranim uzorcima rijeke Spreče utvrđene su visoke koncentracije teških metala. Posebno je uočljiva ekstremno visoka koncentracija arsena od 810 µg/l, prosječna koncentracija olova na ušću u jezero Modrac je iznosila 145,33 µg/l, kadmija 4,067 µg/l. Na mjernom mjestu most u Puračiću utvrđene su vrlo visoke prosječne koncentracije olova od 193,13 µg/l i kadmija 15,27 µg/l.
- Olovo, nikel i kadmij prisutni su u vodi jezera Modrac. Prosječna koncentracija olova iznosi 144,13 µg/l, kadmija 7,65 µg/l što predstavlja ozbiljno zagađenje vode i može uzrokovati dugoročan negativan uticaj na ekosistem jezera.
- Potok Banovac koji protiče deponijama šljake i pepela doprinosi zagađenju rijeke Jale olovom u koncentraciji od 210,6 µg/l i kadmijem 13,07 µg/l.
- U analiziranom uzorku babuške (*Carrasius gibelio*) utvrđeno je bioakumuliranje olova i kadmija u količini od 2,6 mg/kg i kadmija 0,2 mg/kg. Zbog ovako visokih koncentracija navedena dva toksična teška metala, ovu vrstu ribe nije preporučljivo koristiti za ljudsku ishranu.
- Obzirom na vrlo visoke koncentracije Ni, Cd i Pb u rijekama Spreči i Turiji, kao i jezeru Modrac, može se zaključiti da dominantni unos teških metala ide direktno iz vode ka ribi i potiskuje svaki analitički značaj efekta lanca ishrane u ekosistemu.

- Potrebno je uspostaviti jedinstven sistem upravljanja slivovima Rijeka na nivou BiH, pa tako i slivom rijeke Spreče, kako bi se osigurala efikasna koordinacija aktivnosti u razvoju infrastrukture, zaštite vodotoka i općenito poboljšanja kvaliteta voda.
- Odrediti hemijski, biološki i ekološki status rijeke Spreče, Turije i jezera Modrac shodno zahtjevima datim u Odluci o karakterizaciji površinskih i podzemnih voda, referentnim uslovima i parametrima za ocjenu stanja voda i monitoring voda ("Službene novine FBiH", br. 1/14).
- Uraditi katastar zagađivača na slivnom području rijeke Spreče i jezera Modrac, javno objaviti izdate vodne i okolinske dozvole najvećim zagađivačima, kao i jednom godišnje objaviti stepen ispunjenja obaveza proizašlih iz izdatih dozvola.
- Odrediti koordinacioni tim na nivou općina koje koriste jezero Modrac u cilju aplikacije na EU fondove u svrhu pisanja projekata, obezbjeđenja sredstava, a sve u cilju zaštite jezera Modrac.



7. LITERATURA

1. Andrew M. Dolamn Jacqueline Rucker Frances R. Pick Jutta Fastner Thomas Rohrlack Ute Mischke Claudia Wiender (2012): Cyanobacteria and Cyanotoxins: The influence of Nitrogen versus Phosphorus, Uppsala Univeristy, Sweden.
2. A. A. Bawuro, R. B. Voegborlo, and A. A. Adimado (2018): Bioaccumulation of Heavy Metals in Some Tissues of Fish in Lake Geriyo, Adamawa State, Nigeria, Journal of Environmental and Public Health, Vol. 2018, Article ID 1854892, 7 pages. <https://doi.org/10.1155/2018/1854892>.
3. Damjana Drobac Nada Tokodi Jelica Simeunović Vladimir Baltić Dina Stanić Zorica Svirčev (2013): Human exposure to cyanotoxins and their effect od health, Arh Hig Rada Toksikol, 64:305-316.
4. Dural, M., Goksu, M. Z. L. and A. A. Ozak (2007): Investigation of heavy metal levels in economically important fish species captured from the Tuzla lagoon. Food Chem. 27, 521-526.
5. De Conto Cinier C, Peti-Ramel M., Eaure R, Garin D., 1998. PMID 94699852 UI. 98134241 Chimieanalytique 2. Licas, Batiment 305, Lyon, France.
6. GENERAL STANDARD FOR CONTAMINANTS AND TOXINS IN FOOD AND FEED (CODEX STAN 193-1995) Adopted in 1995 Revised in 1997, 2006, 2008, 2009 Amended in 2010, 2012, 2013, 2014, 2015.
7. Odluka o karakterizaciji površinskih i podzemnih voda, referentnim uslovima i parametrima za ocjenu stanja voda i monitoring voda ("Službene novine FBiH", br. 1/14). Tabela 6. Standardi kvalitete okoliša (SKO) za specifične zagađujuće materije.
8. Rosenstock, L. (2003). The Environment as a Cornerstone of Public Health, Environmental Health Perspectives, 111(7), pp. A376-A377.
9. Kupusović, T. Vučjak, B. Kovčić, O. (2015). Akumulacija Modrac i njeno funkcioniranje tijekom poplave u svibnju 2014. godine, Hrvatske vode, 23 91 pp.19-28.
10. Raša Đ. Milanov, Ispitivanje sadržaja teških metala i metaloida u tkivima rečne ribe kao pokazatelja bezbednosti mesa ribe i zagađenja životne sredine, Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, 2014.

11. Pravilnik o maksimalno dovoljenim količinama za određene kontaminante u hrani ("Službeni glasnik BiH" br 37/09 i 3/12).
12. Pravilnik o toksinima, metalima, metaloidima te drugim štetnim tvarima koje se mogu nalaziti u hrani ("arodne novine", broj 16/05).
13. The Commission of the European Communities No 1881/2006 and No 629/2008 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs.
14. World Health Organization (WHO), (2010b). The World Health Report - Health Systems Financing: The Path to Universal Coverage. Retrieved from.
15. Wachs B., (1991), Okobewertung der Schwermetallbelastung von Fließgewässern. -Munchener Beitr. Abwasser - Fischerei u. Flußbiol., 45, 295-335.





BILJEŠKE

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

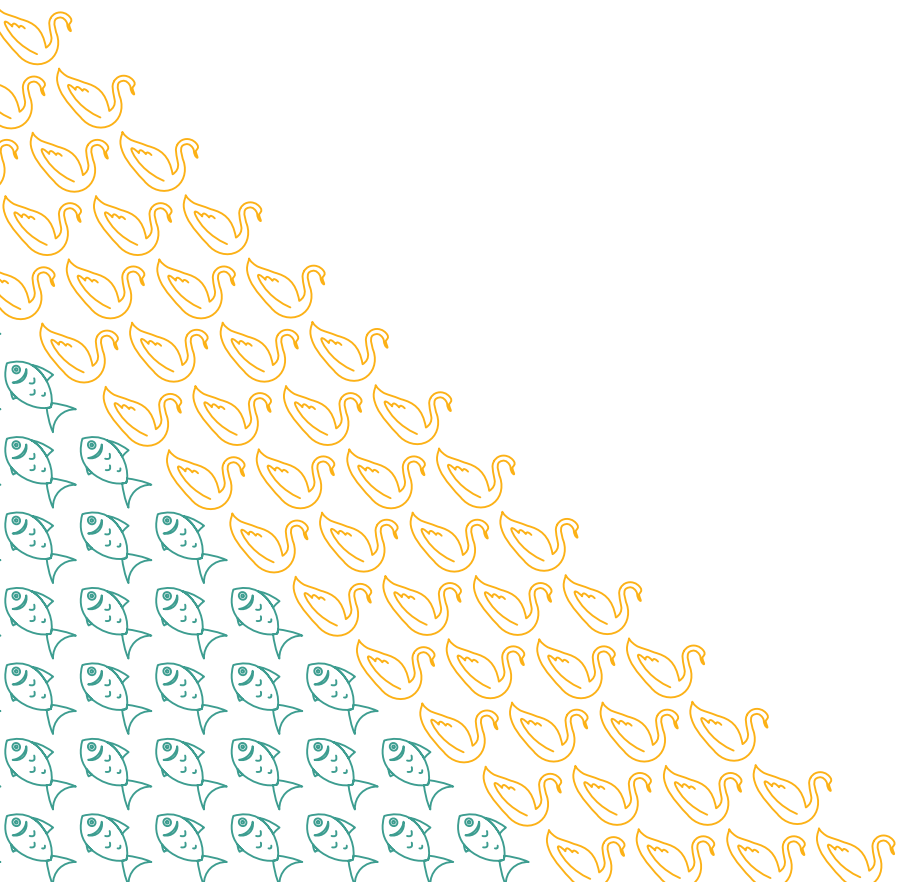
.....

.....

.....

.....

.....





Ova publikacija je napravljena uz finansijsku podršku Evropske unije.
Sadržaj publikacije isključiva je odgovornost udruženja Eko - BiH
i ne odražava nužno stavove Evropske unije.